L. SACCO & Ing. A. CELLONI
TEN. COLONNELLI DEL GENIO

MANUALE
DI
RADIOTECNICA

V EDIZIONE

ROMA
A CURA DELL' UFFICIO MARCONI

GUGLIELMO MARCONI
INVENTORE DELLA RADIOTELEGRAFIA

L. SACCO E A. CELLONI
COLONNELLI DEL GENIO

MANUALE
DI
RADIOTECNICA

QUINTA EDIZIONE RIVEDUTA E CORRETTA
CON PREFAZIONE DEL MARCHESE LUIGI SOLARI

ROMA
A CURA DELL' UFFICIO MARCONI
1930 - IX

1ª EDIZIONE (*in un volume*) luglio 1915; 15 capitoli, 155 paragrafi, 88 figure, 226 pagine (formato in-16).

2ª EDIZIONE (*in due volumi*) ottobre 1920; complessivamente 25 capitoli, 300 paragrafi, 296 figure, 534 pagine (formato idem).

3ª EDIZIONE (*in due volumi*) - prima ristampa marzo 1923, seconda ristampa maggio 1925; complessivamente 25 capitoli, 300 paragrafi, 296 figure, 534 pagine (formato idem).

4ª EDIZIONE (*in due volumi*) ottobre 1926; complessivamente 28 capitoli, 337 paragrafi, 422 figure, 721 pagine (formato idem).

5ª EDIZIONE (*in un volume*) giugno 1930; 34 capitoli, 377 paragrafi, 445 figure, XXXII - 480 pagine (formato in-8).

Le varie edizioni corrispondono alle successive aggiunte e varianti per l'aggiornamento del Manuale.

PREFAZIONE

Il presente Manuale è dedicato ai giovani che pur non avendo compiuto regolari studi di matematica e di elettrotecnica desiderino avere cognizioni elementari di radiotelegrafia per potere esercitare stazioni radiotelegrafiche di piccola portata. Esso potrà riuscire specialmente utile agli allievi radiotelegrafisti della R. Marina, del R. Esercito e della R. Aeronautica, poichè è stato redatto nella forma più semplice e più pratica possibile per fornire le principali nozioni tecniche necessarie ai radiotelegrafisti delle navi della Marina Mercantile e delle stazioni da campo.

I Colonnelli del Genio cav. Luigi Sacco e cav. Achille Celloni hanno compilato il presente Manuale, che è stato altamente apprezzato ed adottato da molte scuole private di radiotelegrafia e dalla R. Marina alla scuola del Varignano.

Il testo, ormai giunto alla quinta edizione porta, rispetto alle edizioni precedenti, numerose aggiunte e varianti specie sugli argomenti di maggiore interesse e sulle ultime realizzazioni nel campo radio; in pari tempo è in esso giustamente riassunta e sfrondata la parte, diremo così, retrospettiva che, date le radicali trasformazioni avvenute nella radiotecnica negli ultimi anni, non presenta ormai per lo studioso se non un interesse storico.

La veste tipografica del libro è stata anche più curata che non nelle precedenti edizioni. Si è riunita in un solo volume compatto e maneggevole tutta la materia, si sono volute di proposito distinguere con due caratteri diversi, quelle trattazioni che costituiscono un corredo basilare e necessario a chiunque desideri iniziarsi in questo ramo della tecnica, da quelle che sono più particolarmente dirette a chi intenda maggiormente addentrarvisi.

Il trattato non perde per questo il suo carattere di opera di volgarizzazione, quando però con questa parola non si intenda un modo facilone ed impreciso di trattare gli argomenti, bensì si voglia esprimere il proposito, che ci sembra pienamente messo in atto dagli esimi Autori, nel presente volume, di esporre con locuzione piana ed accessibile ma scientificamente inappuntabile, la materia di cui si tratta.

Chi desiderasse poi completare scientificamente le proprie cognizioni di radiotecnica non avrà che l'imbarazzo della scelta fra le classiche pubblicazioni del ramo, le quali oggidì costituiscono una estesissima letteratura in tutte le lingue.

In ogni modo per la storia dalle origini e dello sviluppo della telegrafia senza fili ricorderò che onore deve essere giustamente tributato a Franklin, ad Henry, a Faraday ed a Kelvin per i loro studi sulla scarica elettrica di un condensatore: a Maxwell, per la sua teoria elettromagnetica della luce; ad Hertz, per i suoi brillanti esperimenti nella dimostrazione pratica della teoria di Maxwell; a Varley per aver notato l'aumento della conduzione delle polveri metalliche durante le scariche atmosferiche: a Calzecchi-Onesti, per la sua scoperta sulla diminuzione della resistenza delle polveri metalliche sottoposte all'influenza di una scintilla elettrica; a Branly, per la sua geniale applicazione della scoperta di Calzecchi-Onesti nel così detto tubo di Branly; a sir Oliver Lodge, per aver dimostrato alcune proprietà delle onde elettriche per mezzo del « coherer », apparecchio simile al tubo di Branly; al prof. Righi, per le sue belle esperienze sull'ottica delle oscillazioni elettriche ottenute per mezzo di un oscillatore di sua invenzione; al prof. Popoff, per avere ripetuti gli esperimenti di Varley nella rivelazione dei disturbi elettrici atmosferici; al dr. Fleming per le prime applicazioni della valvola ionica negli apparecchi radiotelegrafici riceventi; al dr. Meisner e all'ing. Round per le prime applicazioni delle valvole ioniche negli apparecchi trasmittenti.

Ma nessuno fece mai menzione, prima di G. Marconi, della possibilità di impiegare le onde elettriche per pratica telegrafia a grande distanza. D'altra parte, le oscillazioni e le onde elettriche studiate da Hertz e da Righi, che per primi artificialmente le produssero, avevano caratteristiche tali che non avrebbero in realtà reso possibile di produrre effetti controllabili se non a piccole distanze.

Fu nella primavera del 1895 che i primi esperimenti di telegrafia senza filo vennero eseguiti da Guglielmo Marconi a Villa Grifone presso Pontecchio (Bologna). Furono quelle esperienze che costituirono la prima pratica utilizzazione delle onde e delle oscillazioni elettriche per trasmettere a distanza segnali rispondenti all'alfabeto Morse.

Marconi aveva scoperto che un filo conduttore, innalzato verticalmente ed isolato dal suolo per mezzo di un piccolo intervallo esplosivo, costituiva, allo scoccare di una scintilla elettrica attraverso quell'intervallo, un ottimo ed efficiente trasmettitore di onde elettriche e che un simile filo verticale collegato alla terra attraverso un apparato sensibile alle onde elettriche rendeva possibile di rilevare la presenza di tali onde provenienti da distanze relativamente grandi.

Con simile dispositivo ogni movimento o cambiamento di forza elettrica sopra la superficie della terra ha il suo equivalente movimento o cambiamento nella terra, di guisa che i nodi di ogni semionda elettrica trasmessa nello spazio coincidono sulla superficie della terra coi nodi di una semi-oscillazione elettrica trasmessa nella terra. È stato mediante l'associazione di queste due azioni fisiche che Marconi ha ottenuto di

trasmettere per la prima volta controllabili effetti elettromagnetici attraverso grandi distanze senza alcun mezzo artificiale di collegamento.

I primi esperimenti di radiotelegrafia fatti da Marconi furono giudicati di tale importanza, che il professore tedesco Slaby della Scuola Imperiale tecnica di Charlottemburg chiese ed ottenne nel 1897 da Marconi il permesso di assistere alle sue esperienze (1).

Oggi è interessante il ricordare quanto il prof. Slaby disse al riguardo in una conferenza tenuta a Berlino il 1° Novembre 1897: « Ciò che ho visto è qualcosa « di veramente nuovo. Marconi ha fatto un' invenzione; egli lavora con mezzi « dei quali tutta l' importanza non è stata riconosciuta, ma i quali solo spiegano « il segreto del suo successo. La produzione di onde hertziane, la loro radiazione « attraverso lo spazio, la sensibilità dei così detti occhi elettrici sono tutte cose « ormai ben note. Benissimo!!! ma con questi soli mezzi, 50 metri di portata « di trasmissione potevano ottenersi e non più. Marconi invece per il primo ha « ideato un ingegnoso apparato, mediante il quale con la più semplice assistenza « ottiene un risultato tecnico sicuro. Egli per il primo ha dimostrato come, col- « legando tale apparato da un lato con la terra e dall'altro con lunghi fili con- « duttori verticali, il telegrafare a distanza senza alcun artificiale collegamento « sia così possibile ».

Compiuta in tal modo l' invenzione della telegrafia senza fili Guglielmo Marconi ne ha preconizzato subito, oontro il parere di eminenti scienziati, la più larga e più pratica applicazione. Ma grandi ed imprevisti sono stati gli ostacoli che si sono opposti allo sviluppo della telegrafia senza fili: le alte montagne, la curvatura della terra, la luce solare, le interferenze, le scariche elettriche atmosferiche, la radiazione circolare delle onde elettriche, costituirono argomenti potentissimi per giustificare la freddezza dei governi, lo scetticismo dei tecnici, la diffidenza dei finanzieri di fronte all' invenzione di Marconi. Il nostro inventore, con un intuito e con una fede che trovano solo confronto nella sicurezza dimostrata in modo supernaturale dagli uomini destinati alle grandi scoperte utili all'umanità, ha sorpassato a poco a poco tutti gli ostacoli oppostigli dalla natura e dagli uomini.

Così Marconi nel 1908 creava i primi apparecchi radiotelegrafici sintonizzati atti a garantire l' indipendenza fra stazioni vicine;

nel 1899 creava le prime stazioni atte a sopportare la curvatura della terra (fra Santa Caterina e Capo Lizard);

nel 1900 iniziava la costruzione di stazioni destinate alla corrispondenza radiotelegrafica transatlantica;

(1) Due anni circa dopo la visita fatta alle stazioni Marconi, il prof. Slaby fondò con l' appoggio della Siemens e della A. E. G. la Società Tedesca Telefunken.

nel 1901 dimostrava la possibilità di collegare l'Europa con l'America a mezzo della telegrafia senza fili;

nel 1902 dimostrava a bordo della R. Nave Carlo Alberto *(sulla quale ebbi la fortuna di assisterlo) la possibilità di stabilire regolari corrispondenze radiotelegrafiche attraverso il continente e le più alte montagne d'Europa;*

nel 1903 definiva in modo preciso il fenomeno da lui scoperto dell'influenza della luce solare sulle trasmissioni radiotelegrafiche a grande distanza, ed intuiva il modo di neutralizzarne i dannosi effetti;

nel 1904 scopriva la proprietà delle antenne orizzontali per concentrare la radiazione delle onde elettriche in una data direzione;

nel 1905 creava il nuovo generatore di oscillazioni elettriche a nota musicale;

nel 1906 creava la nuova stazione di Clifden a onde continue;

nel 1907 iniziava la eorrispondenza radiotelegrafica tra l'Europa e l'America di giorno e di notte;

nel 1908 perfezionava nuovi ricevitori a gas ionizzati e stabiliva un regolare servizio pubblico radiotelegrafico fra l'Irlanda e il Canadà;

nel 1909 eseguiva le prime esperienze radiotelegrafiche fra Coltano, Massaua e Mogadiscio;

nel 1910 dimostrava a bordo della nave italiana Principessa Mafalda *la possibilità di collegare, a mezzo della radiotelegrafia, l'Europa con l'Argentina;*

nel 1911 trasmetteva e riceveva alla presenza di una Commissione governativa i primi radiotelegrammi ufficiali fra le stazioni di Coltano, di Clifden (Irlanda) e di Glace Bay (Canadà);

nel 1912 e 1913 ideava ed applicava alle stazioni di grande portata la trasmissione e la ricezione in duplex ed automatica, che permisero di trasmettere e ricevere contemporaneamente due radiotelegrammi nella stessa stazione alla velocità di 60 parole al minuto, come fu controllato ufficialmente dalla Commissione parlamentare inglese (rapporto ufficiale in data 30 Aprile 1913);

nel 1914 applicava in Roma alla presenza di S. M. il Re i primi apparecchi di telefonia senza fili, i quali da allora entrarono a far parte dell'equipaggiamento della Difesa Nazionale;

nel 1915 si metteva a disposizione del R. Governo Italiano per l'applicazione della radiotelegrafia per scopi di guerra;

nel 1916, riprendendo uno studio che egli aveva da gran tempo iniziato e che aveva dovuto sospendere per le vicissitudini del primo periodo della guerra, rivolse le sue ricerche alla tecnica ed all'impiego delle onde corte e cortissime, divinando che grazie alla valvola termoionica giunta in quell'epoca ad efficiente sviluppo, l'avvenire doveva essere di quelle onde speciali.

Al tempo in cui non si conosceva che il sistema ad onde smorzate, Marconi scoprì che **non** *si sarebbero potute superare le grandi distanze se non mediante onde molto*

lunghe. Infatti egli riuscì nel 1901 a comunicare attraverso l'Atlantico mediante l' impiego di tali onde, le quali furono in seguito adottate da altri. Però dopo la scoperta della valvola termoionica ed il conseguente impiego di onde persistenti, Marconi percepì per il primo la convinzione che si sarebbero dovute sostituire le onde lunghe con quelle cortissime, cioè con quelle stesse onde che egli aveva scartato durante il periodo in cui prevaleva il sistema a scintilla. Ricordo che nell'Ottobre del 1902 Marconi mi disse a bordo dell' incrociatore italiano Carlo Alberto : « Bisognerà aumentare ancora la « lunghezza d'onda per aumentare la portata di trasmissione ». *Ma lo stesso Marconi nell'Aprile del 1916 mi disse :* « Mi sono ingannato, e tutti gli altri mi « hanno seguito. Io però sarò il primo a ritornare sui miei passi e a riprendere « l'impiego delle onde corte sulle quali si baserà l'avvenire della radiotelegrafia ». *A tale scopo egli fece costruire, secondo suoi disegni, nelle sue Officine di Genova, durante la primavera del 1916, due piccole stazioni a riflettore a onde cortissime. Fu in base ai risultati ottenuti a Genova con tali stazioni che Marconi s' indusse a riprendere sul yacht* Elettra *i suoi esperimenti sulle onde corte fra l' Inghilterra e le Isole del Capo Verde. In seguito ai risultati ottenuti da tali esperimenti egli potè scrivere nel 1923 al Ministro delle Comunicazioni d'Italia :* « Noi siamo in completa rivo- « luzione in radiotelegrafia ». *E la rivoluzione è stata provocata dal* « sistema « Marconi a fascio » *a onde corte, che permette oggidì di comunicare con gli antipodi richiedendo una quantità di energia enormemente ridotta rispetto a quella necessaria ai sistemi ad onde lunghe. Il sistema Marconi a fascio assicura inoltre il grande vantaggio di poter garantire un servizio segreto, velocissimo e regolare, anche in condizioni atmosferiche avverse. Il Governo Inglese è stato il primo a riconoscere l'efficienza del* « Sistema Marconi a fascio » *ed esso ne ha decretata l'adozione per la rete radiotelegrafica Imperiale Britannica. L' impiego delle onde corte ha aperto alle radiocomunicazioni un grande avvenire, sia nel campo della radiotelefonia sia in quello della trasmissione di immagini a distanza.*

Questo breve riassunto dell'opera di Guglielmo Marconi dovrà ricordare ai Giovani Italiani, i quali si dedicano allo studio della radiotelegrafia, che nell' impiego di questo nuovo mezzo di comunicazione essi hanno il particolare dovere di mostrarsi degni connazionali dell' inventore della telegrafia senza fili e fedeli interpreti delle responsabilità che incombono in chi assume l'esercizio di una stazione radiotelegrafica, alla quale possono essere affidati importantissimi servizi, nell' interesse del Paese e per la sicurezza della vita umana in mare.

Roma, Luglio 1930.

LUIGI SOLARI

INDICE DELLE MATERIE

CAPITOLO II. - *Capacità.*

CAPITOLO III. - *Magnetismo - Effetto magnetico della corrente - Induttanza.*

CAPITOLO IV. - *Generatori elettrici ad energia meccanica - Motori elettrici.*

CAPITOLO V. - *Trasformatori e Rocchetti d' induzione.*

CAPITOLO VI. - *Unità di misura elettriche - Strumenti di misura.*

PARTE SECONDA.

Principii di Radiotecnica.

CAPITOLO I. - *Generalità sulle onde e sulle radiocomunicazioni.*

CAPITOLO II. - *Onde elettromagnetiche.*

CAPITOLO III. - *Produzione delle onde e. m.*

CAPITOLO IV. - *Circuiti oscillanti.*

CAPITOLO V. - *L'aereo radiotelegrafico.*

CAPITOLO XIII. - *Trasmettitori completi a scintilla ed a valvola.*

CAPITOLO XIV. - *Valvola a tre elettrodi in amplificazione.*

CAPITOLO XV. - *La ricezione radio - Il ricevitore r. t.*

Capitolo XXI. - *La ricezione a telaio e la radiogoniometria.*

Capitolo XXII. - *Radiotelefonia.*

Capitolo XXIII. - *Stabilizzazione della frequenza delle oscillazioni emesse.*

Capitolo XXIV. - *Produzione, propagazione e ricezione delle onde corte.*

Capitolo XXV. - *Misura delle lunghezze d'onda.*

INDICE ANALITICO

(1) OLIVER HEAVISIDE (Londra, 13 maggio 1850 - Torquay, 4 febbraio 1925).

MANUALE DI RADIOTECNICA

PREMESSA

1. - Simboli usati nei disegni e negli schemi dei circuiti radio.

Dinamo - Motori a c. c.

Batteria di accumulatori o di pile.

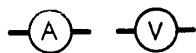
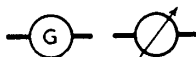
Alternatore a bassa frequenza.
Id. a frequenza musicale.

Alternatore a frequenza radio.

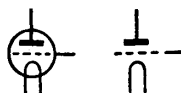
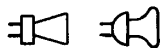
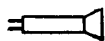
Trasformatore a nucleo d' aria; jigger.

Trasformatore a nucleo di ferro.

Interruttore elettromagnetico.

Spinterometro fisso.

Amperometro - voltmetro.

Galvanometro.

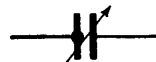
Rivelatore a cristallo.

Valvola a due elettrodi.

Valvola a tre elettrodi.

Microfono.

Cuffia telefonica.

Aereo.

Condensatore a grande capacità (fissa - generalmente per tensioni basse).

Condensatore fisso di piccola capacità.

Condensatore variabile.

Condensatore variabile con l' indicazione dell' armatura mobile.

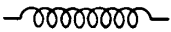
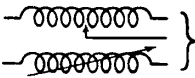
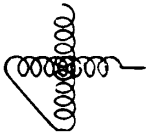
Scaricatore di protezione.

Spinterometro rotante.

Spinterometro a dischi o ad impulso.

Generatore ad arco.

Presa di terra.

Resistenza ohmica (non induttiva).

Induttanza fissa.

Induttanza variabile.

Variometro.

2. - ALFABETO MORSE. — I segnali dell'alfabeto Morse che si usano nella radiotelegrafia sono gli stessi impiegati nella telegrafia ordinaria. L'alfabeto internazionale Morse è usato in tutti i paesi (eccetto in America), ed è composto di *punti* e di *linee* separati da *intervalli*. Le lunghezze o durate di tali elementi sono rigorosamente stabilite e devono essere regolarmente mantenute, qualunque sia la velocità di trasmissione.

Le regole relative sono le seguenti:

1.° una linea equivale in durata a tre punti;
2.° l'intervallo fra due elementi di una stessa lettera è di un punto;
3.° l'intervallo fra due lettere di una stessa parola equivale ad una linea (tre punti);
4.° l'intervallo fra due parole consecutive equivale a due linee (sei punti).

Occorre raggiungere la maggiore precisione nell'applicazione di queste regole, poichè la ricezione r. t. è resa più facile o più difficile da una trasmissione più o meno perfetta.

L'alfabeto Morse è il seguente:

a	· —	g'	— — · — · (*)	r	· — ·	*Cifre*	
ä	· — · —	h	· · · ·	r'	· — · — (*)	1	· — — — —
à	· — — · —	i	· ·	s	· · ·	2	· · — — —
b	— · · ·	j	· — — —	t	—	3	· · · — —
b'	— · · · — (*)	k	— · —	t'	—— (12 punti) (*)	4	· · · · —
c	— · — ·	l	· — · ·	u	· · —	5	· · · · ·
ç	— · — · ·	m	— —	ü	· · — —	6	— · · · ·
c'	— · — · — (*)	n	— ·	v	· · · —	7	— — · · ·
ch	— — — —	ñ, n'	— — · — — (*)	w	· — —	8	— — — · ·
d	— · ·	o	— — —	x	— · · —	9	— — — — ·
e	·	ò	— — — ·	x'	— · · — · (*)	0	— — — — —
è	· · — · ·	p	· — — ·	y	— · — —		oppure —
f	· · — ·	p'	come à (*)	z	— — · ·		Segno di frazione
g	— — ·	q	— — · —	z'	— — · · — (*)		— — — — — —

(*) Valgono solo nei testi cifrati.

Segni d' interpunzione ed altri.

Punto (.) · · · · · ·
Punto e virgola (;) — · — · — ·
Virgola (,) · — · — · —
Due punti (:) — — — · · ·
Punto d' interrogazione (?) · · — — · ·
Punto ammirativo (!) — — · · — —
Apostrofo (') · — — — — ·
A capo (a linea) · — · — · ·
Tratto d'unione (-) — · · · · —
Parentesi (prima e dopo le parole) — · — — · —
Virgolette (") id. id. id. · — · · — ·
Sottolineato id. id. id. · · — — · —
Segnale che separa il preambolo dell' indirizzo, l' indirizzo dal testo, ed il testo dalla firma — · · · —

Si usano poi in radiotelegrafia i seguenti altri segnali :

— · · — · (nr) numero del telegramma } nel preambolo dei r. t. g.
· — — · (p) parole
— · — · — segno di attenzione, principio di telegramma.
— · — (k) invito a trasmettere.
· · · · · · · · · · · · segno d'errore.
· · · — · capito, inteso.
· — · · · (as) aspettate, impedito.
— — — — · — (ok) sta bene.
· · · — — — · · · (sos) segnale di nave in pericolo.
· — · — · (ar) fine trasmissione.

PARTE PRIMA

Elementi di Elettricità e di Magnetismo.

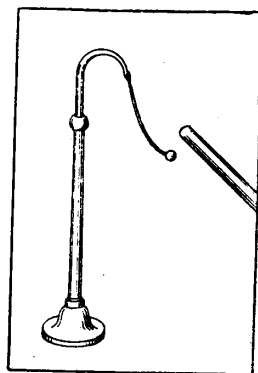
CAPITOLO I.

Elettricità.

3. - ELETTRICITÀ STATICA. — Un bastone di ambra (il cui nome greco è *electron*, dal quale è derivato il nome di *elettricità*), sfregato con un pannolino di lana o di seta, acquista la proprietà di attrarre dei corpi leggerissimi come pezzettini di carta o di sughero (fig. 1). Altre sostanze come il vetro, la ceralacca, l'ebanite, ecc., mettono in evidenza la stessa proprietà dell' ambra, cioè possono elettrizzarsi quando vengono sfregate con un pannolino di lana o di seta. Si dice che questi corpi in seguito all'azione subita hanno acquistato uno stato speciale e cioè lo *stato elettrico* o una *carica elettrica*.

Fig. 1.

Un'altra proprietà che è facile verificare si è che l'ambra e la seta, appena avvenuto lo sfregamento, si attraggono, mentre due pannolini di seta sfregati con uno stesso pezzo d'ambra si respingono. Altri fenomeni di attrazione e repulsione si verificano poi impiegando diverse sostanze e diverse qualità di panno.

Per spiegare questi fenomeni di attrazione e repulsione si ammette che nello sfregamento i corpi acquistino stati elettrici di carattere opposto, detti l' uno *positivo* e l'altro *negativo*; i corpi che hanno stati elettrici dello stesso nome si respingono fra di loro, mentre quelli a stati elettrici di nome contrario si attraggono. Di più si è osservato che dei due corpi che tra di loro si sfregano, l'uno acquista sempre una carica positiva e l'altro una carica negativa, ed inoltre che toccando un corpo non elettrizzato con un altro che lo sia, il primo, se è isolato

da terra, acquista una carica di uguale nome, cosicchè dopo il contatto i due corpi si respingono.

Se, infine, due corpi a stati elettrici opposti si toccano fra di loro, neutralizzano i loro stati elettrici, e cioè questi stati si annullano ed i corpi si comportano in seguito come se fossero scarichi.

Tutti i diversi fenomeni sopra accennati si spiegano ammettendo l'esistenza di una causa speciale, chiamata elettricità. La carica elettrica di un corpo o la quantità di elettricità che esso possiede può essere misurata: l'unità di misura impiegata è il *coulomb*.

4. - NATURA DELL' ELETTRICITÀ. — Le più recenti teorie ammettono l'esistenza di due specie di elettricità: negativa e positiva. L'elettricità negativa è di costituzione granulare, formata da minuscoli granellini detti *elettroni*. Tali granellini o corpuscoli di elettricità negativa si trovano liberi negli spazii interatomici e intermolecolari della materia, oppure vincolati nell' interno degli atomi, di cui formano parte insieme con i nuclei, i quali ultimi sono sempre elettricamente positivi e si ritengono costituiti da un certo numero di *protoni* o nuclei elementari positivi. Il creare lo stato elettrico come è stato indicato al nr. precedente non significa altro che dare agli elettroni esistenti nel corpo un diverso raggruppamento, invece di lasciarli nella loro disposizione normale (corpo neutro o scarico). Se sul corpo si raggruppano elettroni in numero maggiore del normale (e questo avviene con lo sfregamento a mezzo del pannolino di seta), il corpo assumerà lo stato elettrico negativo; se invece gli elettroni vengono tolti ed il corpo ne possiede in quantità minore della normale, allora esso assume lo stato elettrico positivo.

Per chiarire meglio la natura dell'elettricità è necessario dare alcune altre nozioni di carattere generale.

5. - TEORIA ELETTRONICA. — Secondo la teoria atomica della costituzione della materia, tutti i corpi, composti o semplici, sono divisibili in molecole ed in atomi, essendo la molecola l'ultima particella in cui si conserva ancora la natura del corpo, e l'atomo il minimo di ogni corpo semplice che si riscontra nei fenomeni chimici. Tale teoria ha risposto a tutte le esigenze della scienza fino a poco tempo fa; ma in seguito, numerosi fenomeni, non spiegabili con la teoria atomica, secondo la quale l'atomo era l'estremo limite indivisibile della materia, hanno condotto alla concezione della teoria elettronica. Seguendo tale teoria l'atomo non è indivisibile, ma è un elemento composto, come già detto, formato probabilmente, per ciò che si ammette dalla generalità, da un nucleo centrale costituito di protoni e detto *nucleone,* intorno al quale si muovono in orbite chiuse (come i pianeti intorno al sole nel sistema solare) delle particelle più piccole che sono appunto gli *elettroni*.

Gli elettroni sono molto piccoli; la loro massa si stima essere 1/1835 della massa dell'atomo di idrogeno, che è il più piccolo atomo conosciuto, e la cui

massa è di gr. $1,66/10^{24}$; e le loro dimensioni teoriche sono dell' ordine di grandezza $3,8/10^{12}$ di $^{m}/_{m}$, essendo invece di $1/10^{7}$ di $^{m}/_{m}$ il diametro di un atomo di idrogeno. Nei riguardi delle dimensioni, l'elettrone è rispetto all'atomo ciò che è un granello di miglio rispetto ad una sfera di circa m. 30 di diametro.

Si ritiene che la massa dell' atomo sia tutta concentrata nel suo nucleo positivo, il quale presenta come si è detto una carica positiva, che viene neutralizzata dagli elettroni che lo circondano; l' atomo è perciò normalmente neutro. Sembra inoltre che l' atomo dell' idrogeno abbia un solo elettrone esterno al nucleo, mentre negli altri corpi semplici il numero di tali elettroni è in relazione al peso atomico dell' atomo stesso. L'equilibrio degli elettroni intorno all'atomo è dinamico, e cioè è dovuto alle mutue azioni attrattive e repulsive, in relazione alle condizioni di movimento, precisamente come accade nell'equilibrio dei sistemi planetari.

L' elettrone non deve considerarsi come un granellino materiale; esso è un corpuscolo di elettricità che l'esperienza ha assodato trattarsi di elettricità negativa; e quantunque non possa escludersi a priori l' esistenza di corpuscoli di elettricità positiva, tuttavia tale esistenza non è stata ancora provata. Si dimostra che occorrono 9×10^{20} elettroni per avere la carica di un coulomb (1) di elettricità negativa.

Gli elettroni hanno le stesse proprietà qualunque sia il corpo a cui appartengono; e cioè essi sono tutti eguali fra di loro, dovunque si riscontrino e comunque siano generati.

6. - Atomi elettrizzati o ioni. — A seguito di alcune cause che possono chiamarsi ionizzanti, un atomo neutro e cioè nelle sue condizioni normali, quali siamo soliti a considerare comunemente, può perdere uno o più elettroni o acquistarne uno o più. Nel primo caso l'atomo risulterà caricato positivamente; nel secondo negativamente; e si ottiene così rispettivamente uno ione positivo e uno ione negativo. L'azione per cui un atomo neutro assume lo stato elettrico e diventa quindi uno ione dicesi *ionizzazione*. Uno ione positivo è un atomo elettrizzato positivamente per perdita di uno o più elettroni negativi; la sua massa è quindi un poco più piccola di quella di un atomo neutro. Invece lo ione negativo ha una massa leggermente superiore, poichè esso deriva da un atomo neutro, per addizione di uno o più elettroni. Le due specie di ioni hanno quindi massa molto superiore a quella dell'elettrone.

7. - Conduttori ed isolanti. — Se con un pannolino di lana o di seta si elettrizza un bastone di vetro e poi lo si tocca con la mano, esso viene scaricato: la carica gli è stata sottratta dalla mano, la quale ha *condotto* via l'elettricità, essendosi formato un *movimento di elettroni,* e cioè una *corrente di elettroni,* o corrente elettrica. Si chiamano *conduttori* i corpi capaci di condurre l'elettricità da un punto ad un altro e cioè di permettere il passaggio della corrente elet-

---

(1) Vedi nr. 13. - Da Carlo Agostino Coulomb (Angoulême 1736 - Parigi 1806).

trica. Sono buoni conduttori tutti i metalli : i migliori sono l'oro, l'argento, il rame, l'alluminio ; seguono quindi il ferro, l'ottone, il piombo, il nichel, ecc. Anche il corpo umano e l'acqua comune sono conduttori, ma assai meno perfetti dei metalli ; lo stesso dicasi della terra, delle soluzioni di sali e di acidi nell'acqua, e dell'aria umida.

I corpi che non conducono l'elettricità si dicono *isolanti* o *dielettrici* : sono tali il vetro, la porcellana, l'ebanite, la mica, l'olio, la gomma, la seta, il legno secco, la lana, il cotone, la carta secca, la paraffina, la cera, l'aria secca, ecc.

È questa proprietà degli isolanti che permette di eseguire le esperienze di attrazione e repulsione di cui si è detto al nr. 1 : infatti lo stato elettrico, generato su essi con lo sfregamento, vi rimane per un certo tempo e produce gli effetti noti ; sui corpi conduttori, invece, esso sparisce, perchè si disperde con molta facilità, e le esperienze non possono riuscire facili ed evidenti.

8. - Conduttività elettrica e corrente elettrica. — In base alla teoria elettronica i concetti di conduttività o conducibilità elettrica di un corpo e di corrente elettrica si spiegano come segue : i corpi buoni conduttori, come i metalli, contengono degli elettroni liberi negli spazi intermolecolari e interatomici, mentre i corpi isolanti non hanno elettroni liberi, ma solo elettroni vincolati, e cioè appartenenti ai vari atomi. Gli elettroni liberi esistenti nei metalli, sotto l'azione di una adeguata forza esterna di un campo o di una f. e. m. applicata, si muovono in un determinato senso, dando luogo ad un flusso di elettroni negativi, ed è questo flusso che costituisce la corrente elettrica. Si deve però avvertire che come *senso* della corrente elettrica si assume quello delle cariche positive, che è opposto al movimento degli elettroni.

Tale moto nell' interno dei corpi conduttori è analogo a quello di un fluido attraverso i pori di un corpo poroso, ed è accompagnato quindi da una perdita di energia che si manifesta sotto forma di calore. La causa che determina tale perdita dicesi *resistenza elettrica* del corpo.

9. - Corrente elettrica nei mezzi isolanti e nel vuoto. — Nei mezzi isolanti solidi e liquidi non esistono elettroni liberi, ma solo molecole materiali neutre, e perciò non vi si può produrre una corrente elettrica se non disponendo di una sorgente di elettroni che ve li introduca, e di una potente forza esterna che li faccia muovere in un senso ben determinato. I corpi isolanti offrono quindi, come già detto, una grande resistenza.

Nel vuoto, come negli isolanti, non si hanno elettroni liberi ; ma si può stabilire una corrente, provocando la emissione di elettroni da parte di un corpo immerso nel recipiente vuoto, e determinando poi il moto di detti elettroni a mezzo di adeguate forze elettriche esterne. Questo modo di creare la corrente è fondamentale nelle valvole elettroniche, e di esso si tratterà più avanti.

10. - CORRENTE ELETTRICA NEI GAS. — Se in un mezzo gassoso si ha un certo numero di elettroni liberi, basterà l'azione di una adeguata forza esterna per disporli in movimento e creare così la corrente. Ma gli elettroni in moto sono soggetti ad urti continui con le molecole del gas, le quali, a differenza di quello che avviene nei solidi e nei liquidi, sono libere di moversi. L'urto a forte velocità costituisce una causa di ionizzazione, la quale crea, come si è detto al nr. 6, degli ioni negativi (per incorporazione di uno o più elettroni ad un atomo) e degli ioni positivi (per perdita di uno o più elettroni); i primi si moveranno nello stesso senso degli elettroni, ed i secondi in senso opposto, e il movimento di questi ioni costituisce la corrente elettrica nel gas.

11. - CORRENTE ELETTRICA NELLE SOLUZIONI LIQUIDE. — Se una sostanza (specialmente un sale) viene sciolta in un liquido, essa è soggetta alla dissociazione elettronica, e cioè le sue molecole si scindono in due gruppi atomici, detti ioni, che presentano uno stato elettrico opposto, alcuni positivo, altri negativo. La dissociazione è tanto più facile quanto più la soluzione è diluita. Gli ioni positivi si chiamano anche cationi; quelli negativi anioni. Se ora nella soluzione si fa intervenire una forza elettrica, creata ad esempio da due corpi oppostamente elettrizzati, immersi nel liquido, si verificherà che gli ioni si orientano sotto l'azione di tale forza elettrica, e ciascuno di essi si moverà verso il corpo che ha carica elettrica di nome contrario. Gli ioni positivi (cationi) sono forniti dall' idrogeno e dagli elementi metallici contenuti nelle soluzioni: essi si moveranno verso il corpo che presenta la carica negativa e perciò gli elementi che forniscono i cationi si chiamano anche elettropositivi. Gli ioni (anioni) forniti da corpi elettronegativi (metalloidi) si moveranno verso il corpo che presenta la carica positiva. Questi due movimenti in senso contrario degli ioni costituiscono la corrente nel liquido.

Riassumendo, la corrente elettrica si manifesta nei vari corpi nei seguenti modi:

Nei corpi solidi conduttori: elettroni liberi del corpo, che si movono più o meno liberamente;

Nei corpi solidi isolanti: elettroni introdotti nel corpo per effetto di un'azione esterna e che si movono con difficoltà;

Nei corpi liquidi conduttori (soluzioni saline): ioni dei due segni, e cioè gruppi atomici elettrizzati oppostamente;

Nel vuoto: elettroni liberi emessi da corpi immersi nel vuoto;

Nei gas: elettroni liberi e ioni gassosi creati dall'urto degli elettroni sopra le molecole del gas, quando la velocità degli elettroni sia sufficente.

12. - POTENZIALE O LIVELLO ELETTRICO. — Il fenomeno della corrente elettrica nei corpi conduttori presenta delle analogie con il moto dell'acqua nelle condutture idrauliche. Si sa ad es. che l'acqua si muove nelle condutture sempre dai punti più alti a quelli più bassi, e che nello scendere può provocare dei movimenti e generare del lavoro (ad esempio nei mulini e nelle centrali elettriche, dove l'energia è fornita dalle cadute d'acqua). Questo fatto si esprime in linguaggio tecnico dicendo che l'acqua che si trova ad un livello elevato rispetto ad un determinato punto possiede una certa *energia potenziale*, la cui misura è rap-

presentata dalla quantità di lavoro meccanico che può produrre l'acqua che cada dal livello a cui si trova, fino a quel punto.

Si può dimostrare che questo lavoro è precisamente uguale a quello che occorre per sollevare la stessa acqua dal punto considerato sino a quel livello; ed è tanto più grande quanto maggiore è il dislivello a cui trovasi l'acqua, cosicchè di due eguali quantità di acqua, quella che si trova ad un livello inferiore, possiede una energia potenziale minore. Una differenza di livello corrisponde dunque ad una differenza di energia potenziale posseduta dall'acqua, e perciò la differenza di livello si può anche chiamare *differenza di potenziale.* È importante considerare che l'acqua si muove spontaneamente sempre e soltanto tra punti che sono a livello diverso e sempre dal livello più alto a quello più basso.

Con l'elettricità succede qualche cosa di analogo; e cioè l'elettricità si muove spontaneamente dai punti in cui essa si trova a livello elettrico più elevato verso i punti di livello elettrico minore; cioè in altri termini essa si muove fra punti che si trovano a differenza di potenziale e precisamente da quello a potenziale più alto a quello a potenziale meno alto. Esistono dunque nei conduttori elettrizzati delle differenze di livello o differenze di potenziale elettrico, che rendono possibile il movimento della elettricità nei conduttori stessi, come si rende possibile il movimento dell'acqua nelle condutture. Ciò non esclude che l'elettricità possa moversi anche in senso opposto a quello indicato, come del resto può avvenire che l'acqua si muova dal basso all'alto. Ma perchè ciò si verifichi, occorre che intervenga una energia esterna (ad es. nel caso dell'acqua, una pompa di sollevamento), che vinca la tendenza sopraddetta dell'acqua o dell'elettricità a moversi spontaneamente dal potenziale (livello) più elevato a quello meno elevato.

Le analogie tra potenziale elettrico e livello si possono anche maggiormente illustrare così: le denominazioni di *potenziale positivo* e *potenziale negativo* hanno un significato analogo a quello che si usa di solito in pratica dicendo *altitudine* sopra il livello del mare e *depressione* sotto il livello del mare, cioè esse si riferiscono ad un potenziale che si prende come potenziale zero: e precisamente, come nelle altitudini si prende per livello o *potenziale zero* quello del mare, così in elettricità si prende come *potenziale zero quello della terra,* la quale, essendo un corpo buon conduttore, ha presso a poco un potenziale costante in tutti i punti. Così si dice che un certo corpo è a *potenziale positivo* se, messo in comunicazione con la terra, si determina una corrente elettrica diretta dal corpo *verso la terra,* e si dice a *potenziale negativo* se invece si determina una corrente elettrica *dalla terra* al corpo.

In pratica poi si suole chiamare *potenziale* di un punto ciò che in realtà è la differenza di potenziale (d. d. p.) tra quel punto e la terra (potenziale zero). Si usa poi anche chiamare *tensione elettrica* o *voltaggio* fra due punti, la d. d. p. tra due punti: le denominazioni di *d. d. p., tensione elettrica, voltaggio* hanno quindi lo stesso significato e stanno ad indicare che fra due punti esiste un *dislivello elettrico,* in grazia al quale l'elettricità tende a muoversi da un punto all'altro.

13. - MISURA DELLA QUANTITÀ DI ELETTRICITÀ E DEL POTENZIALE. — Per lo studio dei fenomeni in generale è necessario poter valutare le grandezze che in essi intervengono. Per tale valutazione occorre stabilire le unità di misura, e cioè quelle quantità delle varie grandezze che si prendono come riferimento per la misura. Dalla fisica sono note le unità di misura fondamentali, e cioè: delle lunghezze (il centimetro), della massa dei corpi (il grammo), del tempo (il secondo). Unità derivate sono: il centimetro quadrato (per le superfici), il centimetro cubo (per i volumi), la dina (per le forze). Nel caso nostro le unità di misura per le grandezze finora esaminate sono:

per le masse elettriche o quantità di elettricità: il *coulomb*;

per i potenziali elettrici: il *volta* (1).

Si vedrà in seguito il significato esatto di queste unità.

14. - INTENSITÀ DELLA CORRENTE ELETTRICA. — L'analogia fra corrente elettrica e corrente d'acqua può servire per spiegare che cosa si intende per intensità d'una corrente elettrica. Una corrente d'acqua (in un fiume, in un canale, in un condotto) si definisce con la portata, ossia con l'indicazione della quantità di acqua (e cioè quanti litri o metri cubi) che passa nell'unità di tempo (minuto secondo) per un determinato punto del condotto. Così ad es. si dirà che un fiume versa nel mare 300 $m.^3$ di acqua al secondo; che un condotto che alimenta una fontana dà 2 litri al secondo e così via.

Per la corrente elettrica si definisce una caratteristica analoga alla portata e che ha assunto il nome di *intensità della corrente*; essa indica la quantità di elettricità che passa nell'unità di tempo per un determinato punto del conduttore. Ora la valutazione delle quantità di elettricità si fa con l'unità di misura apposita chiamata coulomb; si dirà dunque che una determinata corrente elettrica ha l'intensità di tanti *coulomb al secondo*. In luogo della indicazione coulomb al secondo si è convenuto di adoperare una parola sola, *ampere* (2). L'intensità di una corrente elettrica si misura dunque in ampere (e cioè in coulomb al secondo).

15. - PRODUZIONE DELLE D. D. P. — Per ottenere una corrente elettrica occorre dunque disporre di una d. d. p., la quale deve essere creata appositamente, ottenendola da una trasformazione di energia di altra natura; e gli apparecchi nei quali ciò avviene si chiamano col nome di *generatori elettrici*. Si è già visto ad esempio che sfregando un pezzo di vetro si determina in esso uno stato elettrico e quindi un potenziale elettrico: in questo caso ciò si è ottenuto dal lavoro fatto nello sfregamento, e cioè si è trasformata una energia meccanica. Esistono altri modi per ottenere energia elettrica dall'energia meccanica, come

---

(1) Da ALESSANDRO VOLTA (Como 18 febbraio 1745 - Como 5 marzo 1827).

(2) Da ANDREA MARIA AMPÈRE (Lione 1765 - Marsiglia 1836). - Il nome dell'unità di misura si scrive in italiano senza accenti (ampere).

si vedrà più avanti. Se poi si produce una d. d. p. per trasformazione di energia chimica, allora si hanno i generatori elettrici noti col nome di pile e di accumulatori.

16. - Produzione di elettricità per azione chimica - Pile a liquido. — Se in un vaso contenente una soluzione di acido solforico (1) si immergono una sbarretta di rame ed una di zinco, si può, con mezzi acconci, verificare che la prima ha assunto una carica positiva e la seconda una carica negativa. Se poi si congiungono le due sbarrette con un filo conduttore, si può rilevare che in questo avviene un passaggio continuo di corpuscoli di elettricità cioè di elettroni; e che quindi si ha una *corrente elettrica*.

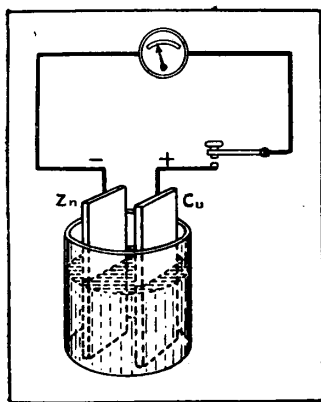



Fig. 2.

Per dimostrare l'esistenza della corrente così generata basta inserire sul filo che unisce le due sbarrette di rame e zinco, una lampadina elettrica opportuna: la lampadina si accenderà e per qualche tempo continuerà a brillare.

L'insieme del vaso contenente la soluzione di acido solforico e delle due sbarrette di rame e zinco è detto *pila voltaica* (fig. 2), da Alessandro Volta che la inventò nel 1799 a Como.

Si conoscono oggidì molti altri modi di produrre per azione chimica gli stessi effetti della pila voltaica, impiegando sostanze adatte che danno maggiore regolarità e sicurezza di funzionamento; tutti però sono fondati, come la pila voltaica, su un'azione chimica analoga a quella dell'acido solforico sul rame e sullo zinco, azione che ha appunto la proprietà di creare continue cariche elettriche, e quindi di mantenere la corrente fra i *due elettrodi* della pila (in tal modo si chiamano le sbarrette di rame e zinco o quelle che le sostituiscono). Gli estremi esterni degli elettrodi diconsi *poli* o *reofori* e sono l'uno positivo e l'altro negativo. Sono tali le pile Bunsen (2), Daniell (3), Leclanché.

Nella pila voltaica il polo connesso allo zinco dicesi *polo negativo* e quello connesso al rame *polo positivo,* perchè la corrente all'esterno va dal rame allo zinco.

Tali apparecchi diconsi anche *pile primarie,* in quanto generano l'elettricità ottenendola dall'energia chimica che si manifesta nell'azione fra il liquido ed il metallo dei poli, e quindi da un'energia diversa dalla elettrica. La d. d. p. che si ha fra i poli di una pila è differente, a seconda del tipo di pila che si considèra: varia da volta 0,9 a volta 1,65.

(1) La soluzione è conduttrice, come si é detto al nr. 11.

(2) Roberto Guglielmo Bunsen (Gottinga 31 marzo 1811 - Heidelberg 16 agosto 1899).

(3) Ermanno Alberto Daniell (Köthen 18 dic. 1812 - Lipsia 3 settembre 1871).

17. - Pile a secco. — Nelle pile a liquido la sostanza attiva è sciolta in acqua, sia per averla in forma diluita, e cioè non concentrata, sia per portarla a contatto con tutta la superfice dai poli. Così nella pila voltaica e in quella Bunsen è l'acido solforico in soluzione nell'acqua; in quella Daniell è solfato di zinco e in quella Leclanché è cloruro di ammonio, sempre in soluzione nell'acqua. Nel caso della pila Bunsen e della pila Leclanché, gli elettrodi sono lo zinco ed il carbone; in quella Daniell, come in quella voltaica, sono lo zinco ed il rame.

Si può dare alla pila la forma a secco, purchè vi si presti la sostanza attiva (detta elettrolita) ed anche un'altra sostanza (detta depolarizzante), che ha per scopo di far proseguire l'azione della pila quando i due elettrodi siano collegati fra di loro con un filo conduttore e cioè siano messi in circuito chiuso. Nella pila voltaica non esiste depolarizzante; in quella Daniell è acido nitrico;

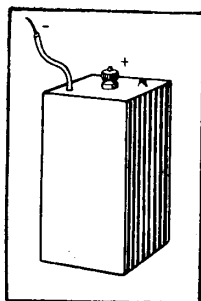



Fig. 3.

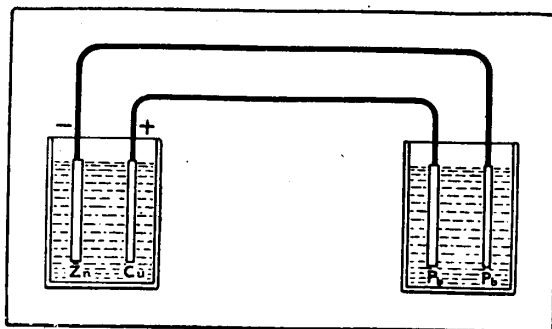



Fig. 4.

in quella Leclanché è biossido di manganese. La pila Leclanché è specialmente adatta per assumere la forma a secco, perchè l'elettrolita (cloruro d'ammonio), ed il depolarizzante (biossido di manganese) si possono convenientemente manipolare. La pila a secco Leclanché è infatti costituita da un involucro di zinco, di forma circolare o prismatica, che funziona da recipiente, ed insieme da elettrodo negativo, entro il quale si pone il cloruro d' ammonio, (sciolto in una gelatina di amido o di sostanze analoghe) aderente allo zinco, e poi un sacchetto contenente un impasto compresso di polvere di carbone e di biossido di manganese con al centro un bastone di carbone di storta. Si copre il tutto con un mastice a base di pece e si avvolge il recipiente con carta paraffinata (fig. 3).

Le pile a secco sono molto usate negli apparecchi radio.

18. - Immagazzinamento dell' elettricità - accumulatori. — Vi sono altri apparecchi detti *pile secondarie* o *accumulatori*, nei quali l' elettricità è pure dovuta alla energia chimica immagazzinata nel liquido e negli elettrodi, ma questa energia chimica proviene dalla trasformazione di una energia elettrica fornita precedentemente all'apparecchio.

Tali apparecchi richiedono infatti la cosidetta carica, la quale si ottiene mediante una corrente elettrica che produce delle reazioni fra il liquido e gli elettrodi; per effetto di questa azione, sugli elettrodi si produce un immagazzinamento di cariche elettriche. Questi apparecchi servono quindi ad *accumulare* l'elettricità trasformandola sotto forma di energia chimica, per ridarla poi quando occorre; di qui il loro nome di accumulatori.

Un tipo semplice di accumulatore consiste in due lastre di piombo immerse in una soluzione di acido solforico e separate l' una dall' altra. Se si connettono dette lastre con lo zinco ed il rame di una pila primaria, si stabilisce un passaggio di elettricità attraverso alle lastre ed alla soluzione solforica che è conduttrice (nr. 11) (fig. 4). Avvengono allora delle reazioni chimiche, per le quali la piastra di piombo collegata al polo positivo della pila si riveste di una sostanza bruna (biossido di piombo), mentre l' altra acquista uno splendore metallico (piombo spugnoso). Se ciò fatto, si staccano le connessioni con la pila, si può rilevare che la piastra che era connessa al polo + rimane positiva, e quella che era attaccata al polo — rimane negativa; non solo, ma se si connettono poi le due placche con un filo conduttore, si può avere in esso una corrente, come se si trattasse di una pila primaria; cioè l'accumulatore, dopo la carica, si comporta come una pila primaria. La tensione fra i due poli è di circa volta 2,1. L'accumulatore restituisce sempre meno energia di quanta ne ha assorbita per la carica; ma dato che l' elettricità immagazzinata sotto forma di energia chimica vi può restare per un tempo relativamente lungo, (tenendo separati i due reofori), così l'apparecchio può essere molto comodo. Attualmente le piastre di piombo che devono servire per gli accumulatori subiscono una preparazione speciale che ne aumenta molto i pregi, specie per il rendimento in corrente fornita dall'accumulatore, rispetto a quella che gli venne data.

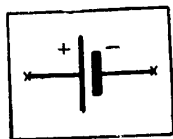



Fig. 5.

Si fanno inoltre oggidì degli accumulatori detti *Edison* (1), in cui, le due placche anzichè di piombo in soluzione solforica, sono una di ossido di ferro ed una di idrato di nichel in soluzione di idrato di potassa; essi pesano meno, sono meno soggetti a guasti di quelli al piombo, e la carica vi si mantiene più a lungo. Per questi accumulatori la tensione fra i poli è di volta 1,2 circa.

Il segno convenzionale per rappresentare una pila od un accumulatore è quello della figura 5: due tratti paralleli, di cui uno più corto e più grosso (polo negativo), l'altro più sottile e lungo (polo positivo).

19. - FORZA ELETTROMOTRICE DEI GENERATORI. — Si è visto che la corrente elettrica è un movimento di elettricità da punti a potenziale più alto a punti a potenziale più basso. Nell' interno degli apparecchi generatori la corrente avviene naturalmente nel senso opposto, per proseguire la corrente esterna; cioè nel-

---

(1) THOMAS ALVA EDISON (Ohio - (S. U. d'A.), 11 febbraio 1847 - vivente).

l'interno delle pile, ad esempio, essa circola partendo dal polo negativo, zinco, e giungendo al rame, per poi proseguire, al di fuori della pila, dal rame allo zinco (fig. 6 *a*). Lo stesso avviene negli accumulatori sotto scarica e nelle macchine elettriche generatrici: e così pure in una pompa destinata a sollevare l'acqua (fig. 6 *b*); con l'azione di essa l'acqua viene obbligata ad andare dal punto più basso al punto più alto, contrariamente a quanto si ha quando l'acqua è lasciata libera.

Nella pompa vi è una forza che vince la tendenza naturale dell'acqua e le fa percorrere il cammino inverso a quello che seguirebbe se fosse libera: con ciò appunto si dà all'acqua la possibilità che in seguito, cadendo, produca del nuovo lavoro, cioè si dà all'acqua un potenziale (dovuto al dislivello al quale viene portata). Nei generatori di corrente (pile, macchine elettriche generatrici) vi è

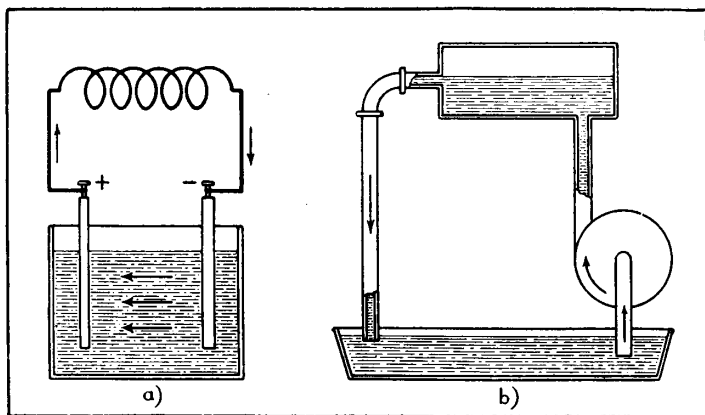



Fig. 6.

qualche cosa di analogo; cioè per effetto della energia esterna (energia chimica nelle pile, energia meccanica nelle macchine), si sviluppa in essi una forza che obbliga l'elettricità a spostarsi contrariamente alla sua tendenza naturale, movendola cioè dal corpo a potenziale più basso a quello a potenziale più alto.

Questa forza che agisce nell'interno dei generatori e che è capace di produrre e di mantenere una differenza di potenziale, obbligando l'elettricità ad andare dal punto di potenziale più basso a quello di potenziale più alto, è dunque analoga alla forza che agisce nelle pompe e che solleva l'acqua. Tale forza dicesi *forza elettromotrice del generatore* ed equivale alla forza sollevatrice della pompa. La forza elettromotrice (f. e. m.) di un generatore si misura nello stesso modo come la differenza di potenziale (d. d. p.) che essa produce, e cioè in *volta:* nella pompa si misurerebbe in *metri*, cioè con il dislivello al quale essa è capace di sollevare l'acqua.

È importante notare che in un elemento di pila o di accumulatore la f. e. m. dipende solo dalla natura delle reazioni chimiche che avvengono nell'interno, ed

è indipendente dalla forma e dalle dimensioni dell'elemento; un elemento grande ed uno piccolo, se costruiti con eguale materiale, hanno eguali f. e. m..

20. - CAPACITÀ DI UNA PILA O DI UN ACCUMULATORE. — Volendo indicare la quantità di elettricità che può essere fornita da una pila o da un accumulatore, si potrebbe ricorrere ai coulomb che possono essere erogati. Torna più comodo però considerare una corrente di una determinata intensità, espressa in ampere, ed il tempo in ore per cui tale corrente può essere fornita. Eseguendo il prodotto di queste due quantità si ha un'espressione in amperora. Si dirà dunque che un dato accumulatore può dare per 10 ore una corrente di 5 ampere, prima di essere scarico; e allora poichè 5 ampere equivalgono a 5 coulomb al secondo; e 10 ore sono 10×60 primi $\times 60$ secondi $= 36000$ secondi, così si potrà dire che l'accumulatore può fornire $36000 \times 5 = 180.000$ coulomb.

Dicendo che l'accumulatore può erogare una corrente di 5 ampere per 10 ore si è data un'espressione comoda a quella che è stata chiamata la capacità di una pila o di un accumulatore; e per brevità si segnerà che la capacità è di 10 ore per 5 ampere e cioè di $10 \times 5 = 50$ amperora. Un accumulatore che abbia capacità di 50 amperora può fornire corrente di 5 ampere per 10 ore, oppure (il numero dei coulomb dovendo rimanere costante) corrente di 10 ampere per 5 ore; se gli si chiede solo 1 ampere ($^1/_5$ della corrente considerata all'inizio) il tempo sarà di 50 ore (5 volte quello corrispondente alla corrente di 5 ampere) (1).

La capacità di una pila o di un accumulatore, a differenza della f. e. m., dipende dalle dimensioni degli elettrodi, essendo tanto maggiore, quanto più grandi sono gli elementi.

21. - RESISTENZA ELETTRICA. — Al nr. 7 si è spiegato il significato delle parole « conduttori » e « isolanti ». Però nessun corpo è perfettamente conduttore e nessuno perfettamente isolante: solo si può dire che ogni corpo possiede in diverso grado la *conduttività elettrica*, che è la proprietà di condurre più o meno facilmente l'elettricità. In pratica si considera più usualmente la proprietà contraria alla conduttività e cioè la *resistenza elettrica* o *resistenza ohmica*, che è la attitudine di un corpo ad opporsi al movimento dell'elettricità. Tutti i corpi si oppongono in misura più o meno grande a tale movimento; tutti i corpi quindi hanno una resistenza elettrica. Una conseguenza importante della resistenza elettrica è quella di consumare parte dell'energia elettrica, trasformandola in calore, cioè scaldando il conduttore; è il cosidetto effetto termico della corrente.

La resistenza al passaggio dell'elettricità è paragonabile a quella che l'acqua incontra quando si muove in un tubo od in un condotto. La resistenza che l'acqua deve vincere è dovuta all'attrito delle particelle liquide contro le pareti del tubo; e dipende dalle seguenti circostanze:

---

(1) In realtà la capacità di un accumulatore si modifica variando l'intensità della corrente erogata ed il ragionamento fatto ha quindi solo un valore approssimativo.

la lunghezza del tubo - se si aumenta la lunghezza, aumenta pure la resistenza;

la sezione del tubo - se si diminuisce la dimensione del foro del tubo, aumenterà la resistenza;

la natura del tubo - un tubo rugoso darà più resistenza di uno liscio.

Nel caso dell'elettricità la resistenza del conduttore filiforme dipende:

dalla lunghezza del filo - la resistenza aumenta se aumenta la lunghezza;

dalla sezione del filo - la resistenza cresce se la sezione del filo diminuisce;

dalla natura del filo - ogni conduttore presenta una resistenza diversa.

Il filo può essere formato da uno qualunque dei corpi buoni conduttori; e ciascuno di essi ha una resistenza ohmica sua propria, caratteristica o specifica del corpo stesso: cosicchè le resistenze di due fili, della stessa lunghezza e della stessa sezione, ma formati con conduttori di diversa natura, sono diverse, a causa appunto della diversa resistenza specifica dei due conduttori.

Indicando con R la resistenza ohmica, con L la lunghezza del conduttore, con S la sezione del filo, con K un coefficiente relativo alla natura del filo, il valore di R è dato da

$$R = K \frac{L}{S} \qquad (1)$$

Il coefficiente K è precisamente la resistenza specifica del corpo di cui è costituito il conduttore.

Per ottenere il valore di R (misurato in ohm - vedi paragrafo seguente), si può esprimere L in metri, S in mm^2. Il valore di K è in tal caso 0,016 per l'argento; 0,017 per il rame; circa 0,02 per l'oro e per il bronzo fosforoso; 0,029 per l'alluminio; circa 0,12 per il ferro, per il nichel e per il platino, circa 0,3 per l'argentana; 0,48 per la costantana e circa 1 per il nicromo e la manganina (1).

Le resistenze che normalmente si impiegano nei circuiti elettrici sono costituite con fili di resistenza specifica elevata e cioè, ad esempio, di argentana, di costantana o di nicromo per ottenere un grande valore di R con poco filo.

Il segno convenzionale per la rappresentazione di una resistenza è quello della fig. 7 *a*) per le resistenze fisse; e quello 7 *b*) per quelle variabili.

22. - MISURA DELLA RESISTENZA. — Analogamente alle altre grandezze elettriche, la resistenza può valutarsi quando sia stabilita l'unità di misura. La resistenza assunta a tale scopo è quella presentata da una colonnina di mercurio puro, alta cm. 106,3 e della sezione di 1 $^{m}/_{m}{}^{2}$. Tale unità ha ricevuto il nome di *ohm*.

---

(1) Queste ultime sostanze, argentana, costantana, nicromo, e altre analoghe, sono leghe metalliche di composizione diversa, contenenti in genere nichel, cromo, ferro, manganese, ecc.

23. - LEGGE DI OHM (1). — Fra le grandezze elettriche, *tensione* (o d. d. p.) *corrente* e *resistenza*, quando si considerino tra due punti di un conduttore non contenente una f. e. m. e che sia percorso da corrente, esiste una importante relazione, detta *legge di Ohm*. Essa si esprime dicendo che « se si misurano in *volta* la tensione o d. p. p. tra i due punti considerati, in *ohm* la resistenza del tratto di conduttore tra quegli stessi punti, ed in *ampere* la corrente che passa nel conduttore, si ha sempre che il prodotto del numero degli ampere per il numero degli ohm è uguale al numero dei volta ». Ad esempio, se fra i due poli di un accumulatore esiste la tensione di *2 volta*, e si collegano i due poli con un filo di resistenza *2 ohm*, si avrà nel filo la corrente di *1 ampere*.

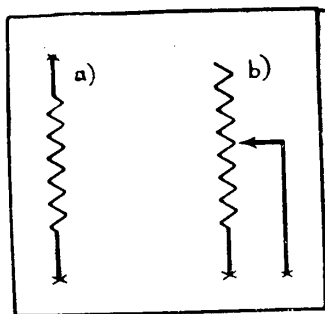



Fig. 7.

Infatti : 2 [ohm] × 1 [ampere] = 2 [volta].

Si può esprimere la stessa legge in tre diverse maniere e cioè:

1° corrente [ampere] = tensione [volta] : resistenza [ohm];
2° tensione [volta] = corrente [ampere] × resistenza [ohm];
3° resistenza [ohm] = tensione [volta] : corrente [ampere].

Se si indica con *i* la intensità di una corrente, con *R* la resistenza del conduttore, e con *V* la tensione, le tre relazioni suddette si possono mettere sotto la forma:

$$i = \frac{V}{R}; \qquad (2)$$

$$V = i \times R; \qquad (3)$$

$$R = \frac{V}{i} \qquad (4)$$

Si deduce che per avere una corrente intensa occorre aumentare la tensione del generatore e diminuire la resistenza del conduttore. È quel che succede anche nelle condutture d'acqua: volendo avere grande portata occorre usare serbatoi posti a grande altezza e tubi grossi, lisci e corti, cioè poco resistenti al movimento dell'acqua.

24. - RAPPRESENTAZIONE GRAFICA. — La legge di Ohm, come anche le leggi di altri fenomeni elettrici o fisici, può rappresentarsi oltre che con formule, con un grafico. Per ottenere ciò occorre riferirsi a due assi ortogonali, e cioè a due segmenti perpendicolari

(1) Formulata nel 1827 da GIORGIO SIMONE OHM (Erlangen 1787 - Monaco 1854).

fra di loro e che si incontrano in un punto O, chiamato origine degli assi (fig. 8). L'asse orizzontale è chiamato asse X o delle ascisse; quello verticale asse Y o delle ordinate. Sull'asse X si portano, in una scala convenzionale, i valori di una delle grandezze che intervengono nel fenomeno: tale grandezza si chiama variabile indipendente ed è normal-

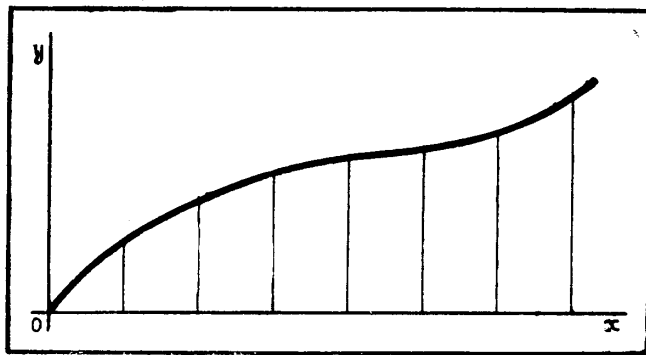



Fig. 8.

mente quella più comoda a farsi variare; le altre grandezze si chiamano funzioni di questa. Nei punti dell'asse che corrispondono ai valori successivamente crescenti della variabile indipendente si inalzano delle verticali (parallele all'asse Y) e su queste, in una scala pure convenzionale, si portano i valori che assume l'altra grandezza (funzione di X) che inter-

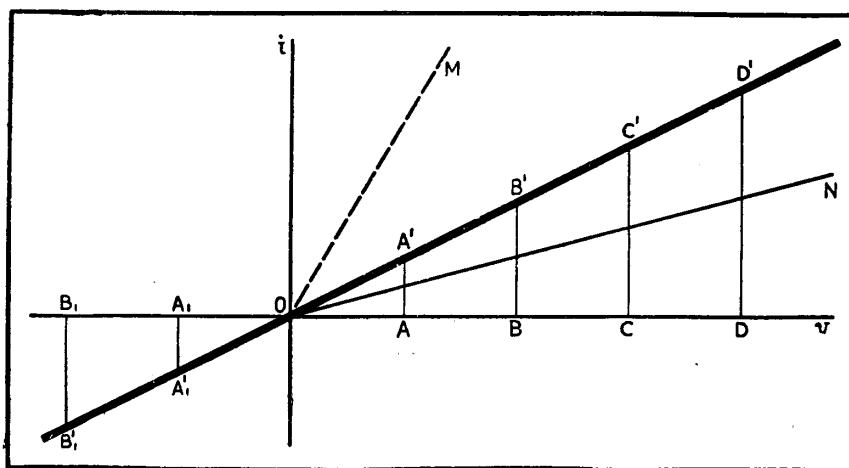



Fig. 9.

viene nel fenomeno, in corrispondenza dei rispettivi valori della variabile indipendente. Si ottengono così vari punti, i quali uniti insieme danno una curva che è appunto la rappresentazione del fenomeno. Nel caso della legge di Ohm, si prenda ad es: la prima relazione $i = \frac{V}{R}$ e si supponga che R valga ad es. 2 ohm. Allora l'espressione diventa

$i = 0.5$ V. Se ora si danno a V valori successivi, si ricaveranno i corrispondenti valori di *i*. E cioè: per V = 1 volta, i = 0,5 ampère; per $V = 2^V$, $i = 1^A$; per $V = 3^V$, $i = 1{,}5^A$; per $V = 4^V$; $i = 2^A$; ecc. Supposto che un centimetro e mezzo rappresenti 1 volta per l'asse delle ascisse e un ampere per quello delle ordinate, sull'asse X si porterà O A = A B = B C = C D = ... = 1,5 cm. (fig. 9); da A, B, C, D... si alzeranno le perpendicolari; e poichè O A = 1 volta, sulla verticale di A si porta il valore di i per V = 1 e cioè $^3/_4$ di centimetro; mentre sulla verticale di B si porterà un segmento di 1,5 cm. perchè tale è il valore di i per O B = 2 volta; e sulla verticale di D centimetri 3, dato che O D = 4 volta e così via.

Si ottengono così i punti A', B', C', ecc. i quali si riuniscono fra di loro, in questo caso con una retta, che è obliqua all'asse X, e che passa per l'origine O. Su questa retta preso un punto qualunque B' e tracciato BB' perpendicolare all'asse X, si può dire che se la d. di p. è O B, l'intensità di corrente nel filo sarà BB'. Nel caso particolare l'asse X può chiamarsi asse V, perchè asse dei potenziali, e l'asse Y può chiamarsi I, perchè asse delle intensità.

Nel grafico è possibile rappresentare anche l'andamento del fenomeno quando s'inverta il senso dell'applicazione della d. di p. Se l'applicazione era fatta in modo che P

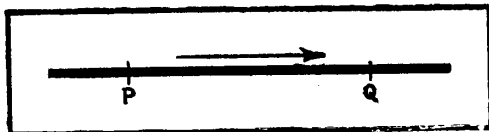
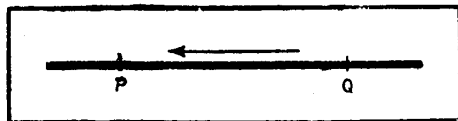



Fig. 10 *a*). Fig. 10 *b*).

fosse a potenziale più alto di Q, allora la corrente aveva il senso P Q (fig. 10 *a*); mentre avrà il senso Q P se il potenziale è applicato in modo che Q sia più elevato di P (fig. 10 *b*). Ora se i valori della d. di p. applicati nel senso P Q sono stati portati sull'asse X alla destra di O, quelli della d. di p. applicata in senso opposto Q P dovranno portarsi in senso opposto del primo, e cioè sulla sinistra di O; ed inoltre, se le correnti nel senso P Q sono state portate al disopra dell'asse X, quelle nel senso opposto Q P dovranno portarsi in senso opposto e cioè al disotto dell'asse X. Quindi con d. di p. invertita si avranno i valori O A_1; O B_1; O C_1 di potenziale e i corrispondenti valori A_1 A_1'; B_1 B_1'; C_1 C_1', di corrente. La rappresentazione del fenomeno sarà la retta O A_1' B_1' C_1' ecc. obliqua all'asse X, e che si trova sul prolungamento della O A' B' C'....

Un'ultima osservazione importante si può fare ed è la seguente: ogni ordinata (A A', B B', A_1 A_1' B_1 B_1' ecc.) vale la metà dell'ascissa corrispondente (O A, O B, O A, O B_1, ecc.); ed allora, se si fa il rapporto fra un'ascissa qualsiasi e la ordinata corrispondente, si ottiene il valore 2, il quale rappresenta appunto la resistenza in ohm del conduttore, come si è supposto sul principio. Dal grafico si possono dunque dedurre i valori che soddisfano alla terza espressione $R = \frac{V}{I}$. Se R anzichè 2 ohm ha valore di 1 ohm o di 4 ohm, il grafico ha l'aspetto rispettivamente delle rette OM, ON che sono diversamente inclinate sull'asse X. L'inclinazione della retta dà dunque immediatamente l'idea della resistenza R; più forte è l'inclinazione, e più piccola è la resistenza.

25. - Regolazione della corrente in un circuito. — Se un circuito ACB (fig. 11) è collegato ai poli AB di un generatore, l' intensità della corrente che circola nel conduttore è determinata dalla tensione fra A e B, e dalla resistenza del conduttore stesso. Il valore I della corrente è dato appunto dal rapporto V : R. Restando costante i due termini V ed R, rimane costante I. Può avvenire in pratica che la d. di p. applicata non mantenga costante il suo valore V. In tal caso, se si volesse mantenere costante il valore I della corrente, è necessario poter variare anche R. Può pure accadere che occorra variare I lasciando fisso V; anche ciò può ottenersi variando R. Per ottenere gli scopi ora detti, nel circuito ABC dovrà essere inserita una resistenza variabile, o, come si dice, un *reostato,* e lo schema sarà quello della fig. 12.

Una resistenza variabile è rappresentata nella fig. 13, che dà lo schema di un reostato a bottoni. Il circuito fa capo ai punti P (estremo della resistenza) e Q (fulcro di una leva girevole). La resistenza è costituita da tante porzioni di

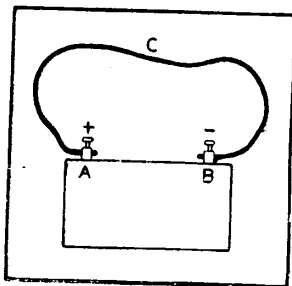



Fig. 11.

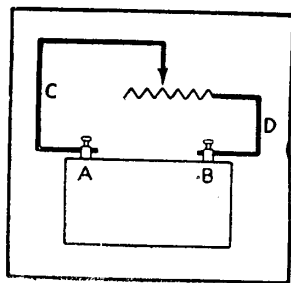



Fig. 12.

resistenza a, b, c, d, ecc.; nel circuito sarà inserito il tratto a, se la leva girevole fa contatto sul bottone fra a e b; saranno inseriti i tratti a e b, se fa contatto sul bottone fra b e c; sarà inserita tutta la resistenza se il contatto è sull'ultimo bottone. Un reostato molto usato è quello della figura 14, in cui il filo che costituisce la resistenza è avvolto a spirale e disposto sulla circonferenza di un disco isolante; la leva girevole comandata da un bottone ha l'estremità ripiegata, per modo che appoggia e fa ottimo contatto sulla spirale. Ruotando la leva, si inserisce una parte più o meno grande di spire nel circuito e quindi se ne varia la resistenza.

26. - Resistenza esterna e resistenza interna. — Nel paragrafo 23, parlando della legge di Ohm, si è detto della relazione che lega le tre grandezze tensione, intensità e resistenza. L'espressione data al nr. 23 può applicarsi solo ad un tratto di conduttore percorso da corrente e nel quale non vi siano f. e. m., nel qual caso la tensione da considerare è rappresentata dalla d. di p. fra i due estremi del conduttore stesso. Nel caso di un circuito collegato ai poli di un generatore, ad es. una pila o un accumulatore, è necessario tener presente che la f. e. m. E del generatore non è tutta disponibile ai poli del generatore, perchè una parte di essa viene consumata per vincere la resistenza

interna R_i del generatore, e cioè la resistenza offerta dagli elementi che costituiscono il generatore.

Allorquando questo è collegato ad un circuito esterno di resistenza R_e, la tensione applicata a questo sarà la f. e. m. E diminuita di una frazione che rappresenta la caduta di tensione nel generatore. Per calcolare tale caduta di tensione e l'intensità della cor-

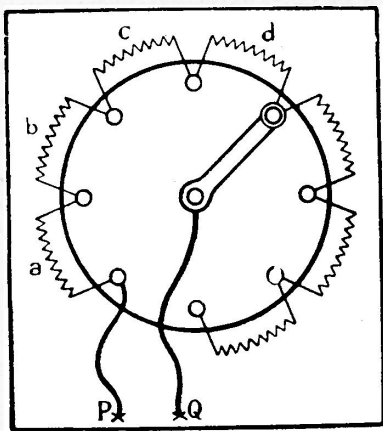



Fig. 13.

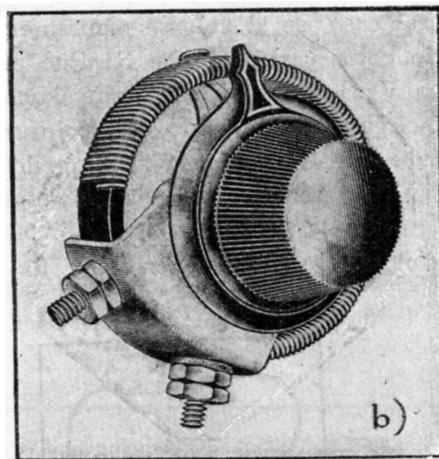



Fig. 14.

rente nel circuito si considera la R_i come se fosse aggiunta alla R_e, ed entrambe alimentate dalla f. e. m. E; quindi la corrente vale:

$$i = \frac{E}{R_e + R_i} \qquad (5)$$

La tensione V_o applicata al circuito esterno che ha resistenza R_e è quindi (secondo la legge di Ohm):

$$V_o = R_e \times i = \frac{R_e}{R_e + R_i} E \qquad (6)$$

La differenza E - Vo è precisamente la caduta di tensione nel generatore, e vale

$$R_i \times i = \frac{R_i}{R_e + R_i} E \qquad (7)$$

Può avvenire che una delle due resistenze sia piccolissima e quindi possa trascurarsi; se è $R_e = 0$, allora la corrente i ha il valore massimo

$$i = \frac{E}{R_i} \qquad (8)$$

e tale corrente si dice di corto circuito.

Se invece R_i è molto piú piccola della R_e, allora la corrente è regolata specialmente solo dalla resistenza esterna, e si potrà scrivere approssimativamente:

$$i = \frac{E}{R_e} \qquad (9)$$

Nel caso poi che il circuito esterno sia interrotto o aperto, allora R_e si deve considerare come enormemente grande. In tal caso sarà $i = 0$, e sarà inoltre $V_0 = E$, perchè numeratore e denominatore della frazione nella formola (6) sono egualmente grandi ed il loro rapporto vale quasi esattamente l'unità.

La tensione che si ha ai poli del generatore è quindi, per questo caso (e cioè a circuito aperto), proprio la f. e. m. a vuoto o tensione del generatore.

27. - RAGGRUPPAMENTO DI APPARECCHI IN SERIE ED IN PARALLELO. — I generatori elettrici, come le pile, e gli accumulatori, hanno come già detto due *poli* o *reofori*, fra i quali esiste una differenza di potenziale mantenuta dalla f. e. m. interna dell'apparecchio: ed hanno inoltre una resistenza interna, dipendente dalla natura e forma dei materiali che ne collegano, all' interno, i due poli, ed una capacità, dipendente dalle dimensioni delle armature.

Fig. 15.

I *circuiti metallici*, costituiti da fili o conduttori metallici continui, hanno pure due *estremi* per i quali entra ed esce la corrente: essi hanno inoltre una *resistenza* dipendente dalla lunghezza, dalla grossezza dei conduttori e dalla natura del materiale che li costituisce. Le resistenze o reostati hanno anch'esse due morsetti per i quali entra ed esce la corrente.

Tutti gli apparecchi ora detti si possono collegare tra loro in due maniere o raggruppamenti fondamentali:

a) raggruppamento in *serie* (od in cascata);

b) raggruppamento in *parallelo* (od in quantità).

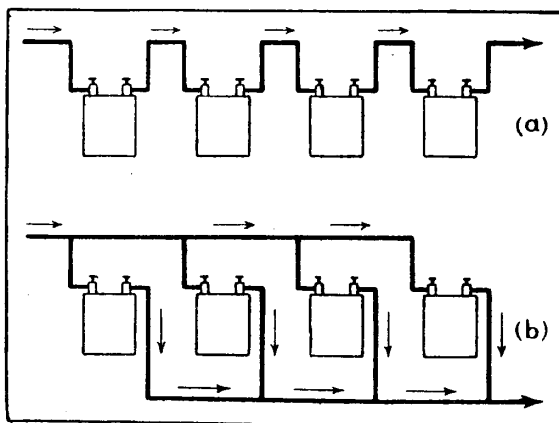
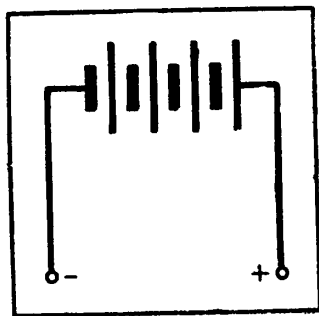
Si ha il raggruppamento in serie di apparecchi elettrici (fig. 15 *a*), quando la corrente percorre *successivamente* tutti gli apparecchi stessi; tale raggruppamenso si ottiene unendo il morsetto di uscita del primo apparecchio con quello di entrata del secondo; il morsetto di uscita di questo con quello di entrata del terzo e così di seguito.

Si ha il raggruppamento in parallelo (fig. 15 *b*), quando la corrente *passa in tutti gli apparecchi contemporaneamente :* ciò che si ottiene unendo tutti i morsetti di entrata fra di loro e tutti i morsetti di uscita pure fra di loro.

Un insieme di apparecchi riuniti in serie od in parallelo forma una *batteria*, la quale ha anch'essa un morsetto di entrata ed uno di uscita: nel raggruppamento in serie il morsetto di entrata e quello di uscita della batteria sono rispettivamente quello di entrata del primo apparecchio e quello di uscita dell'ultimo: nel raggruppamento in parallelo il morsetto di entrata e quello di uscita sono rispettivamente l' insieme di tutti i morsetti di entrata, e di tutti quelli di uscita dei vari apparecchi.

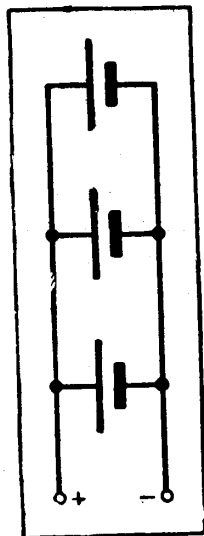
Fig. 16.

Si può avere anche un *raggruppamento misto*, riunendo in parallelo delle batterie nelle quali gli apparecchi siano in serie, oppure raggruppando in serie delle batterie nelle quali gli apparecchi siano in parallelo.

28. - RAGGRUPPAMENTO DEI GENERATORI. — *I generatori si raggruppano in serie*, in modo che le f. e. m. abbiano tutte lo stesso senso, cioè tendano tutte a produrre la corrente in una stessa direzione, collegando il polo positivo di ogni elemento con il negativo del seguente, lasciando liberi solo il negativo del primo ed il positivo dell'ultimo. In tal caso le d. d. p. che si incontrano nel cammino della corrente sono una di seguito all'altra, quindi si sommano: la d. d. p. totale o f. e. m. della batteria risulta così uguale alla somma di tutte le f. e. m. dei generatori; contemporaneamente però le resistenze interne si sommano pure, perchè la corrente deve passarle successivamente.

Ad esempio 10 pile poste in serie, ciascuna delle quali abbia 1,5 volta di f. e. m. e 0,5 ohm di resistenza, formano una batteria avente 15 volta di f. e. m. e 5 ohm di resistenza. La batteria in serie ha dunque una f. e. m. maggiore di quella di un elemento, ma fornisce la stessa corrente di un solo elemento; perciò anche la sua capacità in amperora rimane quella di un solo elemento.

Fig. 17.

I generatori si riuniscono in parallelo collegando tutti i poli positivi insieme e tutti i poli negativi insieme. In tale caso la f. e. m. esistente ai morsetti della batteria è sempre uguale a quella di un solo generatore, ma la corrente trova tante strade per passare, cosicchè la resistenza diminuisce. Ad esempio le stesse 10 pile suddette, riunite

in parallelo, formano una batteria avente 1,5 volta di f. e. m. e 0,05 ohm di resistenza (cioè 10 volte di meno). Supposto che i generatori siano eguali, la batteria in parallelo ha la tensione di un solo elemento, ma fornisce una corrente eguale a quella fornita da un solo elemento, moltiplicata pel numero degli elementi; quindi la sua capacità in amperora è multipla di quella di un elemento.

Le figure 16 e 17 rappresentano il segno convenzionale per le batterie di pile o di accumulatori, in serie ed in parallelo.

29. - Raggruppamento delle resistenze. — Da quanto sopra si può dedurre che unendo varie *resistenze in serie* (fig. 18) si ha una resistenza complessiva uguale alla somma delle varie resistenze, dato infatti che in tal modo si ottiene

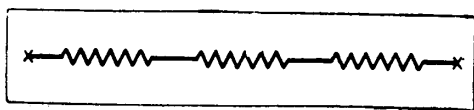



Fig. 18.

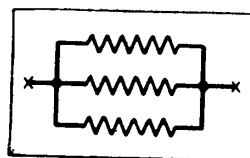



Fig. 19.

un conduttore più lungo e quindi più resistente. Se invece si uniscono varie *resistenze in parallelo* (fig. 19) si ottiene un conduttore che nell' insieme risulta di sezione più grande e quindi meno resistente. Se le resistenze messe in parallelo sono tutte uguali, allora la resistenza complessiva è uguale a quella di un solo conduttore divisa per il numero dei conduttori.

Quando le resistenze messe in parallelo sono disuguali, il calcolo si può fare partendo dal caso di due sole resistenze, con la seguente regola:

La resistenza risultante di due resistenze in parallelo è misurata dal prodotto delle due resistenze, diviso per la loro somma:

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \qquad (10)$$

Se vi sono più di due resistenze in parallelo, si considera il conduttore formato dalle prime due come un solo conduttore di cui si sarà calcolata, come ora si è detto, la resistenza; si considera poi il conduttore formato dall' insieme delle prime due e da una delle rimanenti. La resistenza di queste due si calcola nello stesso modo precedente, cioè dividendone il prodotto per la somma: calcolata così la resistenza delle prime tre, si considera l' insieme di queste come una sola, e le si aggiunge la quarta; si ripete il calcolo come se si trattasse di sole due e così di seguito.

Si abbia, ad esempio, da calcolare la resistenza di un insieme di quattro reostati messi in parallelo e di cui le rispettive resistenze sono 1, 2, 3, 4 ohm. Si considerano le prime due:

la resistenza sarà $\frac{1 \times 2}{1 + 2} = \frac{2}{3} = 0,67$ ohm.

Si considera l' insieme di queste prime due con la terza;

$$\text{si avrà } \frac{0{,}67 \times 3}{3 + 0{,}67} = \frac{2{,}01}{3{,}67} = 0{,}548 \text{ ohm.}$$

Si considera finalmente la quarta in parallelo con la resistenza complessiva:

$$\frac{0{,}548 \times 4}{4 + 0{,}548} = \frac{2{,}192}{4{,}548} = 0{,}481 \text{ ohm.}$$

Come si vede, la resistenza totale è più piccola della più piccola delle componenti (1 ohm). Ciò dipende dal fatto che un conduttore, messo in parallelo con un altro, fornisce una nuova strada alla corrente, e quindi ne diminuisce la resistenza.

30. - BATTERIE DI ACCUMULATORI E DI PILE. — In radiotelegrafia sono molto usate le batterie di accumulatori e di pile. In quest'ultimo caso, gli elementi di pila che costituiscono la batteria sono per lo più del tipo Leclanché a secco; vengono tutti riuniti in scatole di cartone, nelle quali si trovano affondati o in paraffina od in un impasto isolante, per lo più a base di gomma lacca o di pece; e dopo il loro collegamento in serie od in parallelo sono ricoperti dal mastice isolante, dal quale sporgono due o più serrafili o prese per l'attacco dei circuiti. Si possono avere batterie in serie per raggiungere potenziali elevati (ad es. 40, 60, 80 ed anche 120 volta), per intensità piuttosto basse; oppure batterie in parallelo con potenziali bassi (volta 1,5 oppure 4,5) e per intensità notevoli.

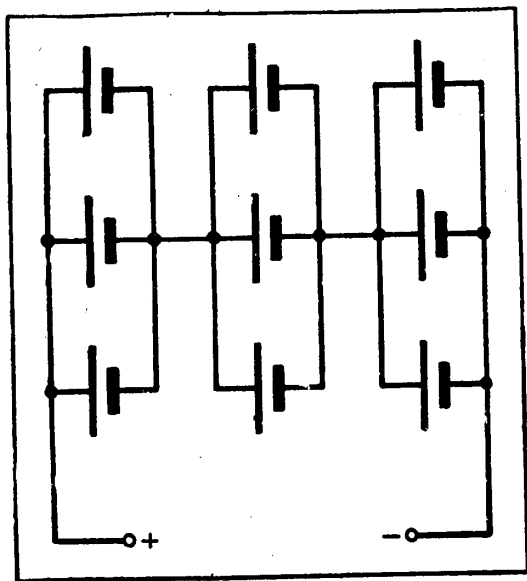



Fig. 20.

Nel caso di accumulatori si possono avere batterie di grande o di media capacità, con tensioni basse oppure alte. Le batterie a grande capacità ed a grande tensione sono batterie stazionarie, che vengono installate in appositi locali, sopra scaffali appositi; mentre le batterie a capacità media (fino a 100 amperora) ed a tensioni basse (4, 6, 8, 12 e 20 volta) possono essere contenute in cassette di legno, ed essere trasportabili. Nelle batterie, quello che viene chiamato elemento di accumulatore è già invece, nella maggior parte dei casi, una batteria di elementi in parallelo, comprendente un

numero più o meno grande di piastre positive e negative, rinnite internamente fra di loro, secondo la capacità che si vuol raggiungere e le dimensioni che deve avere la batteria. Gli elementi sono poi collegati in serie esternamente. Si ha così un collegamento misto, il cui schema è quello della fig. 20.

31. - POTENZA ELETTRICA. SUA MISURA. — Il *lavoro* che può ricavarsi da una corrente elettrica può manifestarsi in vari modi, come illuminazione, movimento di motori elettrici, carica di accumulatori, carica di condensatori, produzione di calore, ecc. La quantità di tale lavoro ricavato dalla corrente dipende dalla *intensità* della corrente e dalla *differenza di potenziale* esistente fra gli estremi del circuito di utilizzazione e più precisamente è misurata dal prodotto di queste due quantità espresse in *ampere* e in *volta* rispettivamente; il numero che così si ottiene è espresso in *watt* (1).

La *potenza* si misura dunque in watt od in kilowat (= mille watt). Ad esempio la potenza consumata in una lampadina fra i cui estremi sia una d. d. p. di 110 volta e che sia percorsa da corrente di $^1/_2$ ampere (lampadina da 50 candele a filamento metallico) è di $110 \times 0{,}5 = 55$ watt.

Anche nelle condutture d'acqua la potenza utilizzabile (che si misura in chilogrammetri al secondo od in cavalli vapore) si ottiene moltiplicando la portata (litri al secondo), corrispondente alla corrente, per la caduta o dislivello (metri), corrispondente alla differenza di potenziale. Il numero che si ottiene è in Kgm. al sec.; volendolo in cavalli vapore (CV), bisogna dividerlo per il numero fisso 75. Così una caduta di 10 metri d'acqua con una portata di 1 metro cubo (1000 litri) al secondo ha la potenza di

$$\frac{10 \times 1000}{75} = 133 \text{ cavalli vapore.}$$

Essendo il watt ed il cavallo-vapore unità di misura di una stessa grandezza (la potenza), esiste fra di essi un rapporto fisso. Il cavallo-vapore equivale infatti a 735,7 watt. Un motore elettrico da 5 kw. equivale dunque come potenza ad un motore a scoppio di 6,8 cavalli ($6{,}8 \times 735{,}7 = 5000$).

Essendo W la potenza espressa in watt di una corrente i in ampère, erogata in un circuito sotto la tensione V in volta, si potrà scrivere:

$$W = Vi. \qquad (11)$$

Nei tratti di conduttore che non contengono f. e. m. si ha:

$$V = i\,r;$$

quindi in tali tratti la potenza è data da:

$$W = r\,i^2 \qquad (12)$$

essendo W in watt, i in ampère e r in ohm.

(1) Da GIACOMO WATT (Greenock (Scozia) 1736 - Birmingham 1819).

32. - ENERGIA ELETTRICA. — Se si considera una potenza elettrica spesa per un certo tempo, si ha un lavoro elettrico, od anche, come si dice più spesso, un'energia elettrica. L'energia si ottiene moltiplicando la potenza disponibile per il tempo in cui essa si è utilizzata.

L'unità di energia elettrica è il *joule*, che è un watt utilizzato per un secondo. Una potenza di W watt utilizzata per il tempo t secondi fornisce quindi una energia di $W \times t = J$ joule. Le unità di energia elettrica più usate nella pratica sono però il wattora (1 watt per un'ora e cioè per 3600 secondi) che vale 3600 joule, oppure l'ettowattora = 100 wattora e il chilowattora = 1000 wattora.

L'energia elettrica si ottiene sempre per trasformazione di energia di altra specie, ed è equivalente all'energia spesa per ottenerla. Questa equivalenza delle energie è conseguenza di un principio importante della fisica, detto della conservazione dell'energia. Per tale principio l'energia non si crea nè si consuma, ma si trasforma da una forma ad un'altra. Tra le varie unità di misura dell'energia esistono quindi dei rapporti fissi; ed infatti 1 joule = 0,102 Kgm. = 0,24 piccole calorie. Di conseguenza il wattora è uguale a 367 Kgm. oppure a 864,5 piccole calorie. La piccola caloria è la quantità di calore necessaria per innalzare di un grado centesimale la temperatura di un grammo di acqua liquida, compresa cioè fra 0° e 100°.

33. - EFFETTO JOULE. — La corrente che percorre un conduttore lo riscalda per effetto della resistenza che il conduttore oppone alla corrente. Il fisico inglese Joule (1) ha per primo dimostrato che nei tratti di conduttore non comprendenti f. e. m. tutta l'energia elettrica viene convertita in calore, e precisamente che il numero di piccole calorie prodotte dalla corrente è proporzionale alla potenza elettrica del circuito ed al tempo durante il quale tale potenza è applicata al circuito stesso. Se q è il numero di piccole calorie prodotto durante il tempo t secondi nel circuito, e se W è la potenza in watt, sarà

$$q = 0{,}24\ Wt \qquad (13)$$

E poichè $W = ri^2$ si potrà scrivere:

$$q = 0{,}24\ ri^2t \qquad \text{piccole calorie} \qquad (14)$$

Si può dire dunque che l'energia elettrica (espressa in joule)

$$J = Wt = ri^2t \qquad (15)$$

che viene perduta perchè trasformata in calore nei conduttori (o, come si dice, perduta per effetto Joule) è proporzionale alla resistenza del conduttore (espressa in ohm), al quadrato dell'intensità della corrente (espressa in ampere) ed al tempo (espresso in secondi). Questa trasformazione in calore è per lo più da evitarsi, rappresentando una perdita; la si utilizza invece negli apparecchi di riscaldamento elettrico, nei ferri da stiro elettrico, nelle lampadine elettriche, ecc. Per ridurre tale

(1) GIACOMO PRESCOTT JOULE (Salford 24 dic. 1818 - Sale 11 ottobre 1889).

perdita basta impiegare conduttori di piccola resistenza; mentre invece si adopreranno conduttori a grande resistenza quando si voglia ottenere molta produzione di calore.

34. - Corrente continua e corrente alternata. — La corrente che si è finora considerata consiste, come già detto, in un movimento di cariche elettriche *sempre nella stessa direzione e con la stessa intensità,* cosicchè di tali cariche passa sempre, nella stessa direzione, uno stesso numero in un certo tempo, per esempio in un secondo. Una così fatta corrente, alimentata da una f. e. m. che ha un senso ed un valore costanti, dicesi *continua* (per abbreviazione c. c.); e la f. e. m. che la genera dicesi pur essa continua. Generatori ai cui poli agiscono f. e. m. continue e che quindi possono fornire c. c. sono ad es. le pile e gli accumulatori già considerati.

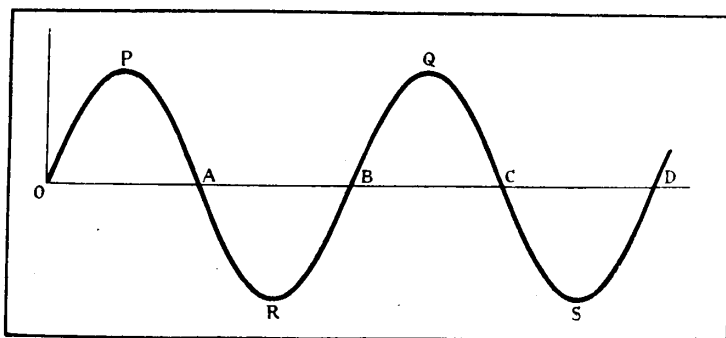



Fig. 21.

Esistono però altri generatori fra i cui morsetti si producono f. e. m. che variano con il tempo in valore ed in direzione; ciascuno dei morsetti è alternativamente a potenziale più elevato ed a potenziale meno elevato dell'altro. In un circuito collegato ai morsetti di detti generatori si stabiliscono correnti variabili in intensità ed in direzione; e queste correnti (come pure le f. e. m. che le generano) prendono il nome di *alternate* (per abbreviazione c. a.).

La c. a. è dunque costituita da un movimento di cariche elettriche, diretto alternativamente in un senso e nel senso opposto, e di intensità continuamente variabile. Quest'ultima, partendo da zero all'atto in cui si stabilisce la corrente, cresce fino ad un massimo in una direzione, poi comincia a diminuire, sempre però nella stessa direzione, fino a zero; da questo istante ricomincia a crescere, ma in senso opposto al precedente, fino ad un massimo, diminuendo in seguito sino a zero, per ricominciare come prima, riprendendo il ciclo descritto (fig. 21). L'intervallo di tempo che passa tra il raggiungimento dei due massimi consecutivi, nella stessa direzione, si chiama *periodo.* Tale intervallo si indica con T, ed il numero dei periodi contenuti in un secondo si chiama *frequenza* della cor-

rente alternata (simbolo f oppure n): quanto più grande è la frequenza e tanto più corto è il periodo e più rapide sono le variazioni della corrente; la frequenza è dunque l'inverso del periodo e cioè:

$$n = \frac{1}{T} \qquad (16)$$

Nelle applicazioni elettriche le frequenze delle correnti alternate possono variare entro limiti vastissimi.

Le frequenze più basse sono proprie delle correnti d'impiego industriale (movimento di motori, illuminazione, riscaldamento ecc.); e le correnti aventi tate frequenza si dicono appunto a frequenza industriale (da 16 a 100 periodi al secondo).

A frequenze più alte la corrente è in grado di produrre un suono in un telefono, quando ne percorra gli avvolgimenti; queste correnti si dicono a frequenza udibile o ad audiofrequenza (da 150 a 10.000 periodi al secondo circa).

Con frequenze molto più alte (comprese fra 10.000 e 600.000.000) la corrente è adatta, come si vedrà diffusamente in seguito, a produrre le onde elettromagnetiche, delle quali ci si vale per la radiotelegrafia. Tali correnti si diranno allora radiotelegrafiche o a frequenza radio, o a radiofrequenza.

La curva della fig. 21 (curva detta sinusoide) rappresenta la forma più semplice della corrente alternata. Rispetto all'asse orizzontale la curva si sviluppa per metà al disopra (prima crescendo fino a raggiungere il massimo, poi diminuendo fino allo zero), e per metà al disotto (anche qui prima crescendo poi diminuendo), rappresentando così la corrente che ha alternativamente due sensi, e per ambedue è di intensità prima crescente, poi diminuente. L'intervallo da *O* a *B*, che è uguale a quello da *P* a *Q* o da *R* a *S*, corrisponde al periodo della corrente; ed esso comprende tutto il ciclo *OPARB*. Dopo tale ciclo il fenomeno si ripete identicamente in *BQCSD* e così via. Ogni periodo comprende due alternazioni (o alternanze), e cioè l'alternanza positiva *OPA* e quella negativa *ARB*.

Identica curva in scala adatta serve a rappresentare la f. e. m. alternata.

Dato che l'intensità della corrente alternata è continuamente variabile, così ad essa non si potrebbe assegnare un valore fisso come si fa per la corrente continua, nella quale l'intensità è sempre la stessa. Siccome però tanto la corrente alternata come la continua riscaldano i fili conduttori in proporzione alla loro intensità, così si è stabilito di misurare la corrente alternata basandosi sul suo effetto di riscaldamento dei fili conduttori. Si dirà allora che una corrente alternata ha l'intensità, ad es., di *4 ampere,* quando essa riscalda un certo filo conduttore come lo farebbe una corrente continua di 4 ampere. Il valore attribuito in tal modo alla corrente alternata dicesi *valore efficace,* e si è constatato che esso è un

po' minore del valore massimo che la corrente assume durante le successive alternazioni: e precisamente che è 0,707 di tale valore (1). Così se il massimo valore di una corrente alternata è di 10 ampère, il suo valore efficace è 7,07 = 10 × 0,707 ampere, cioè essa riscalda un filo come farebbe una corrente continua di 7,07 ampere. Tale intensità efficace si segna con $I_{eff.}$; si avrà dunque

$$I_{eff.} = 0{,}707\ I_{max.} \qquad (17)$$

Analogamente: il valore della f. e. m. di una corrente alternata segnato dagli strumenti di misura rappresenta un valore intermedio fra quelli che la f. e. m. assume con continua variazione, passando dal massimo allo zero ed invertendosi. Tale valore si chiama efficace; si misura quindi la f. e. m. efficace della c. a. ($E_{eff.}$), la quale ha, rispetto alla f. e. m. massima ($E_{max.}$), la stessa relazione che l' intensità efficace ha con l' intensità massima:

$$E_{eff.} = 0{,}707\ E_{max.} \qquad (18)$$

35. - Sistemi polifasi. — La corrente alternata semplice, considerata finora viene chiamata monofase. Combinando due o più correnti monofasi, si ottengono i *sistemi polifasi,* e di questi i più semplici sono il bifase ed il trifase, quest'ultimo molto più importante, per il suo grande impiego nelle applicazioni elettriche industriali.

Il sistema bifase si rappresenta, anzichè con la curva della fig. 21, con quelle della fig. 22: dalla quale si rileva che il sistema bifase consiste nella combinazione di due correnti monofasi: A B C D E, M N O P Q, identiche per frequenza (poichè sono eguali i due periodi A E e M Q), ma spostate l'una rispetto all'altra nel tempo, per modo che quando una ha il valore massimo, l'altra è allo zero e viceversa. Tale spostamento si chiama anche sfasamento; si dice dunque che un sistema bifase è costituito da due correnti alternate sfasate; e lo sfasamento in questo caso è di 90 gradi o di un quarto di periodo, come risulta dalla fig. 22 (2). Per distribuire tali correnti occorrono due linee, ciascuna delle quali ha due fili che si possono chiamare

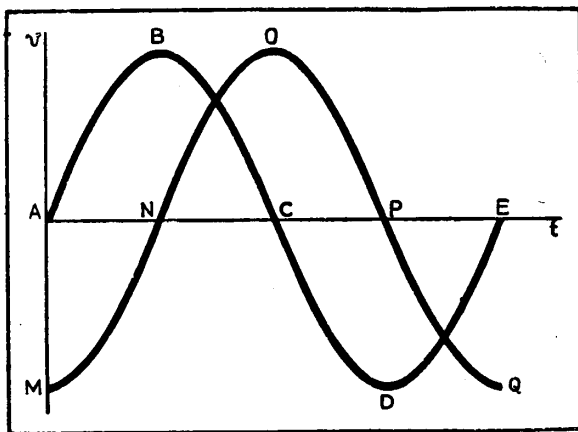



Fig. 22.

(1) Il numero 0,707 è il valore di $\frac{1}{\sqrt{2}}$

(2) Considerando due organi che ruotino compiendo un giro ad ogni periodo della corrente alternata, essi possono rappresentare una corrente bifase, se sono sfasati di $^1/_4$ di giro, cioè di 90°: di qui la equivalenza di $^1/_4$ di periodo con 90°.

uno di andata, l'altro di ritorno; su una delle linee si porta la corrente A B C D E (o la prima fase); sull'altra la corrente M N O P Q (o seconda fase). Si dice allora che la distribuzione è a quattro fili.

Un sistema trifase è rappresentato dalle curve della fig. 23. Si rileva che esso è costituito da tre correnti alternate monofasi A B C D E, M N O P Q, R S T U V coesistenti, di eguale periodo, ma sfasate l'una rispetto all'altra, delle quantità A M e M R e cioè di un terzo di periodo.

In tali condizioni si verifica che in ogni istante la somma di due correnti è uguale e di segno contrario alla terza corrente. La distribuzione delle tre correnti potrebbe farsi con tre linee (e cioè 6 fili); ma considerando che ogni corrente può funzionare come ritorno delle altre due, la distribuzione può farsi con soli tre fili.

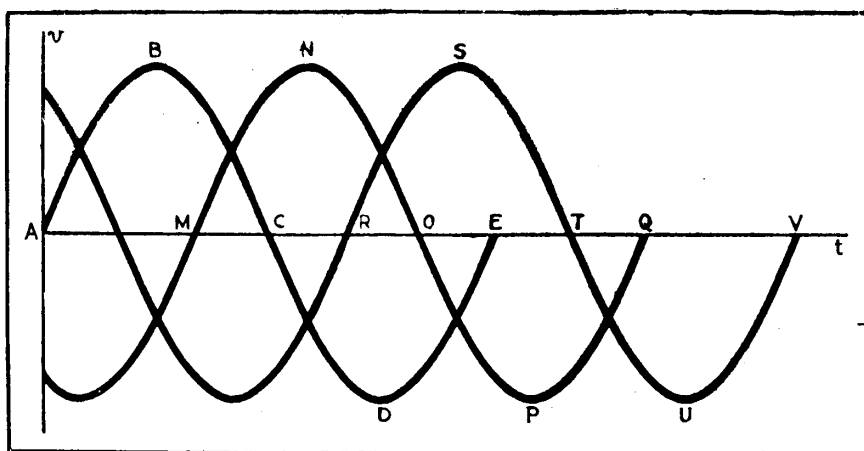



Fig. 23.

Nei generatori e negli apparati utilizzatori del sistema trifase si possono impiegare due diversi collegamenti: *a*) a stella; *b*) a triangolo. Nel collegamento a stella si hanno tre avvolgimenti eguali, con un estremo comune (neutro) e l'altro estremo rispettivamente collegato ad un filo di linea. Al punto neutro può essere unito un quarto filo (filo neutro). La distribuzione è così a 4 fili; essa dà modo di distribuire l'energia sotto una tensione minore di quella della linea. Se infatti $E_{eff.}$ è la tensione di linea (cioè tra due fi i della linea), la tensione tra una delle linee e il neutro è

$$e_{eff.} = \frac{E_{eff.}}{\sqrt{3}} = 0{,}578\ E_{eff.} \qquad (19)$$

Nel collegamento a triangolo si hanno tre avvolgimenti eguali, formanti un triangolo con i vertici sui tre fili di linea. In questo collegamento, la corrente che percorre un avvolgimento è minore di quella di linea, e precisamente se $I_{eff.}$ è la corrente di linea e $i_{eff.}$ è quella dell'avvolgimento, si ha:

$$i_{eff.} = 0{,}578\ I_{eff.} \qquad (20)$$

36. - Potenza di una c. a. — Il concetto di potenza della corrente elettrica esposto al nr. 31 si riferisce alla c. c. Per la corrente alternata la potenza è data dal prodotto della f. e. m. efficace per la intensità efficace:

$$W = E_{eff.} \, I_{eff.}$$

Ciò però quando la corrente e la f. e. m. sono perfettamente d'accordo, o, come si dice, *in fase*; e cioè quando la corrente ha i massimi (sia in un senso che nell'altro), e gli zeri negli stessi istanti in cui li ha la f. e. m. In genere però i circuiti possiedono una caratteristica per la quale la corrente alternata si trova spostata rispetto alla f. e. m. che la genera, e cioè la corrente ha i massimi e gli zeri non corrispondenti ai massimi ed agli zeri della f. e. m. (fig. 24). In tal caso la corrente non è in fase con la f. e. m. ed è invece *sfasata*; la di-

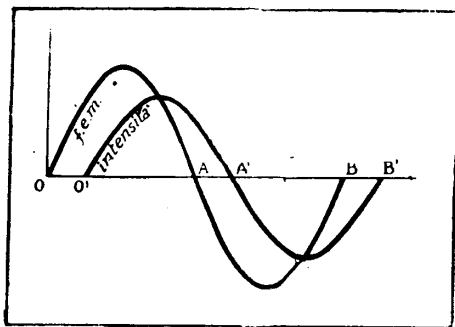



Fig. 24.

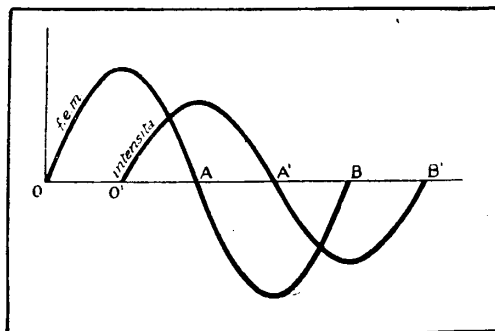



Fig. 25.

stanza OO' fra gli inizii delle due curve misura appunto lo *sfasamento*. Lo sfasamento può anche essere tale che la corrente abbia i massimi in corrispondenza degli zeri della f. e. m. e gli zeri in corrispondenza dei massimi (sfasamento di un quarto di periodo, fig. 25). L'effetto di questa mancata coincidenza della corrente con la f. e. m. è quello di ridurre la potenza della corrente alternata, la quale sarà perciò ancora rappresentata dal prodotto $E_{eff.} \, I_{eff.}$, ma moltiplicato per un fattore K minore dell'unità, che assume il nome di *fattore di potenza*. Detto fattore è uguale all'unità solo nel caso di corrente e f. e. m. in fase, mentre diminuisce quanto più sfasamento si ha fra le due grandezze; ed ha valore zero (e quindi la potenza è nulla) quando la corrente e la f. e. m. sono sfasate di un quarto di periodo, e cioè nel caso della fig. 25. Si può dunque scrivere:

$$W = E_{eff.} \, I_{eff.} \, K \qquad (21)$$

Nei capitoli seguenti si vedrà quali sono le caratteristiche del circuito che producono sfasamenti della corrente rispetto alla f. e. m.

Capitolo II.

Capacità.

37. - Induzione elettrostatica. — Se si avvicina un corpo elettrizzato (e cioè che possiede una carica elettrica, positiva o negativa) ad un corpo conduttore allo stato normale, e cioè neutro o scarico, senza però giungere al contatto, si potrà verificare che sul secondo si produce uno stato elettrico di nome contrario a quello del corpo elettrizzato nelle parti ad esso più vicine, ed uno dello stesso nome nelle parti da esso più lontane (fig. 26). Questo fenomeno dicesi *influenza* o *induzione elettrostatica*. Se in queste condizioni si tocca la parte più lontana del corpo influenzato con un filo conduttore in comunicazione con la terra, allora si può verificare che lo stato elettrico uguale a quello del corpo influenzante si scarica a terra, e rimane nel corpo influenzato soltanto quello contrario affacciato al corpo elettrizzato. Anche questo è un fenomeno di influenza elettrostatica, poichè quando con un filo si unisce il corpo conduttore alla terra (che è buona conduttrice), esso viene a formare con la terra un solo conduttore e, per l' influenza elettrostatica su questo conduttore, nelle parti più vicine al corpo influenzante si manifesta lo stato elettrico opposto, mentre lo stato elettrico uguale viene portato nei punti più lontani della terra, cioè praticamente tanto distante che più non si manifesta.

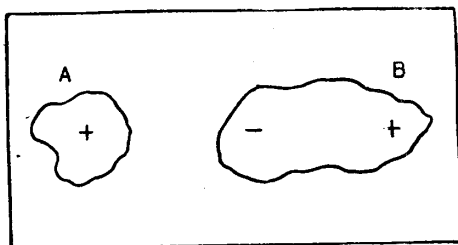



Fig. 26.

Questi fatti si possono abbastanza facilmente mettere in evidenza cospargendo i corpi che si esaminano con una polvere mista di zolfo e minio; siccome queste due polveri aderiscono preferibilmente l' una sui corpi a stato elettrico positivo e l'altra su quelli a stato elettrico negativo, così dal diverso colore delle parti si vede quali di essi siano carichi positivamente e quali negativamente.

38. - Campo elettrico. — Il fenomeno della induzione elettrostatica, come pure quello delle attrazioni e repulsioni tra corpi elettrizzati, rivelano la presenza

di speciali forze esistenti nello spazio isolante che circonda i corpi elettrizzati, dette *forze elettriche*. Queste forze si manifestano lungo direzioni che vanno dalle cariche positive a quelle negative circostanti; tali direzioni diconsi *linee di forza elettrica*. Lo spazio che circonda i corpi conduttori elettrizzati, e nel quale si manifestano i fenomeni elettrici, dicesi *campo elettrico*, ed è caratterizzato come si è detto, dalle linee di forza elettrica. Esso è molto intenso nella immediata vicinanza dei corpi carichi di elettricità e più debole a distanza da essi. Nella fig. 27 *a*) è rappresentato il campo elettrico creato dal corpo A elettrizzato e isolato nello spazio; in quella 27 *b*) il campo creato dai due corpi A e B a carica elettrica opposta, in presenza l'uno dell'altro.

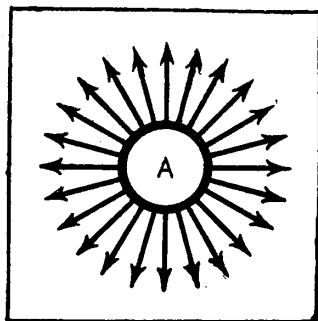



Fig. 27 *a*).

39. - CONDENSATORE. — Se i due corpi conduttori o metallici A e B della fig. 27 *b*) assumono la forma di lastre piane o curve affacciate e parallele, separate da un piccolo strato di aria, allora esse costituiscono un *condensatore* elettrico, che per la sua forma si dirà a lastre piane e ad aria. Ma si può costruire anche un condensatore a vetro, il quale consiste, ad es., in una lastra di vetro (che è l'isolante) ricoperta dalle due parti con fogli di stagnola, in modo però che vi sia un largo margine lungo i bordi della lastra (fig. 28). I due fogli di stagnola costituiscono le *armature* del condensatore e la lastra di vetro (o l'aria nel primo caso) ne è il *dielettrico*.

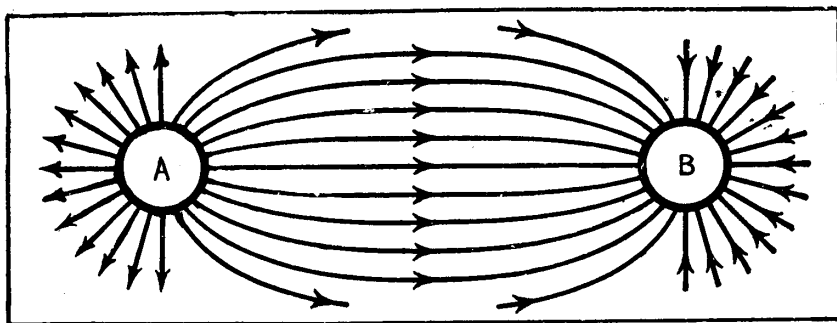



Fig. 27 *b*).

Invece del vetro e dell'aria si può adoperare qualsiasi altro materiale isolante, come ebanite, mica, carta paraffinata ecc.; le armature possono a loro volta essere di qualsiasi metallo buon conduttore, come argento, alluminio, rame, zinco, ottone, stagnola, ecc. Il segno convenzionale di un condensatore è quello rappresentato a fig. 29: due segmenti paralleli, di eguale lunghezza e grossezza.

Il condensatore deve essere sostenuto in modo che le armature non tocchino e non siano vicine a nessun oggetto conduttore estraneo. Se in queste condizioni di isolamento si collega una di esse con un corpo elettrizzato, l'armatura collegata assume uno stato elettrico uguale a quello del corpo che l' ha toccata; l'altra armatura, invece, per influenza elettrostatica, assume stato elettrico opposto sulla faccia interna o più vicina e uguale sulla esterna o più lontana. Se ora si mette questa armatura in buona comunicazione con la terra, allora in essa rimarrà il solo stato elettrico opposto, mentre quello uguale si scaricherà a terra.

In tali condizioni, cioè con le due armature in stato elettrico opposto o, come si dice comunemente, cariche di elettricità opposte, il condensatore è *caricato*.

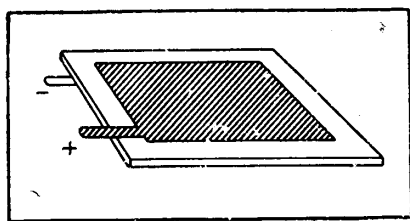



Fig. 28.

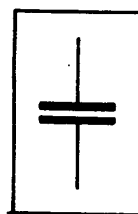



Fig. 29.

La carica di un condensatore si può però ottenere anche direttamente, dando alle due armature due cariche opposte, e cioè toccandoli con corpi che siano elettrizzati a segno opposto, senza mettere nessuna armatura a terra.

40. - Scarica del condensatore. — La carica elettrica di un condensatore può utilizzarsi provocandone la scarica. Questa si ottiene avvicinando l'uno verso l'altro i capi di due fili conduttori che siano rispettivamente connessi con le armature. Si osserva in tal caso che, immediatamente prima che i due fili vengano a contatto, ha luogo tra di essi una *scintilla,* che vien detta di *scarica,* per mezzo della quale le due cariche si neutralizzano, ed il condensatore viene scaricato, tornando le due armature allo stato neutro.

Nel dielettrico di un condensatore carico il campo elettrico è molto intenso, tanto che se la carica è troppo grande si può addirittura verificare la rottura del dielettrico.

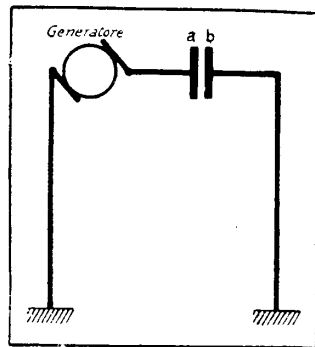
L' esperienza dimostra inoltre che un condensatore carico manifesta una grande tendenza a scaricarsi spontaneamente, cioè le due cariche opposte tendono a neutralizzarsi, o attraverso il dielettrico, se questo è poco isolante, oppure lungo la superficie dello stesso, se essa è sporca o umida. Per proteggere i condensatori dalle scariche accidentali è perciò necessario che essi siano sempre mantenuti in ambienti isolanti (aria secca, olio, paraffina, ecc.), ed inoltre che un grande margine di dielettrico esista intorno alle due armature.

41. - CAPACITÀ ELETTRICA. — Si consideri un condensatore, ad esempio ad aria. Se si collega una delle due armature con la terra e l'altra con una sorgente di elettricità (per esempio con il polo + di una pila, di cui l'altro polo sia in comunicazione con la terra), allora sulla armatura che comunica con la pila si stabilisce una carica positiva, mentre sulla armatura opposta si ottiene, per influenza elettrostatica, una carica negativa. Se ora si avvicina l'armatura collegata alla terra a quella che è in comunicazione con la sorgente, in modo da diminuire la distanza fra di esse, si potrà verificare, con mezzi adeguati, che la carica positiva sulla prima lastra è aumentata. È questo un fenomeno importantissimo: esso si spiega col fatto che il potenziale di un conduttore è dovuto non solo alle cariche che sono nel conduttore stesso, ma *anche a quelle vicine* ed in *proporzione della loro vicinanza,* ciò che è una conseguenza delle reciproche attrazioni o repulsioni delle cariche elettriche vicine.

Nel caso considerato (fig. 30), chiamando *a* l'armatura collegata alla sorgente di elettricità, e *b* quella a terra, se si avvicina *b* verso *a*, si verifica questo fatto: che la presenza della carica di *b* opposta a quella di *a* fa diminuire il potenziale di *a*, e tanto maggiormente quanto più *b* si avvicina ad *a*. Il potenziale di *a* essendo diminuito rispetto a quello del generatore, una nuova carica sarà richiamata da quest'ultimo sulla armatura, fino alla uguaglianza dei due potenziali (del generatore e dell'armatura). Al contrario, se l'armatura *b* a terra si allontana, diminuisce l'influenza delle sue cariche negative sulla armatura *a*, appunto perchè tali cariche sono più distanti; il potenziale della piastra *a* aumenta; e poichè verrà così a risultare più alto di quello della pila, una parte della carica della lamina passerà alla pila e quindi la carica sua subirà una diminuzione.

Fig. 30.

Da questo fenomeno importantissimo si deduce che è possibile *aumentare* la carica contenuta sull'armatura di un condensatore in comunicazione con una sorgente di elettricità semplicemente avvicinandole di più l'altra armatura (in comunicazione con la terra).

Il dover mantenere questa seconda armatura collegata alla terra dipende dalla convenienza di allontanare più che possibile la carica uguale a quella della armatura *a*, in modo che essa non influisca sulla stessa armatura *a*. Questa carica, come si è detto al nr. 37 si tratterrebbe sulla faccia esterna della piastra, se questa fosse isolata. Le due cariche che si avrebbero così sulla armatura *b* isolata, essendo tra loro molto vicine, avrebbero sulla lamina *a* presso a poco effetti uguali e contrari; cioè mentre la carica negativa farebbe diminuire il potenziale della piastra *a*, l'altra lo farebbe aumentare quasi nella stessa misura; e quindi piccola sarebbe la diminuzione che si noterebbe nel potenziale dell' armatura carica.

Invece mettendo a terra la lamina *b*, la carica uguale, che vi si era generata per influenza, viene dispersa nella terra e praticamente annullata; cessa quindi di influenzare il potenziale dell'armatura *a*: questa rimane così influenzata dalla sola carica contraria, ed il suo potenziale diminuisce fortemente. È questa diminuzione di potenziale della piastra rispetto alla sorgente, che permette l'ulteriore spostamento delle cariche elettriche dal generatore alla piastra, cioè l'aumento della carica di quest'ultima.

Per illustrare l' influenza della messa a terra della armatura scarica di un condensatore si può considerare, ad esempio, un condensatore formato da due armature piane circolari di sottile lamiera metallica, di un metro di diametro, e separate da una lastra di vetro di un millimetro di spessore. Una delle armature del condensatore sia in comunicazione col polo + di una batteria di 100 volta di cui l'altro polo sta a terra. Se ora la seconda armatura del condensatore viene lasciata isolata, la carica che si raccoglie sulla prima si può calcolare in circa 4 miliardesimi di coulomb; se si mette invece a terra, la carica diventa 4 milionesimi di coulomb, cioè mille volte maggiore (1).

In definitiva quindi la presenza di un corpo conduttore vicino ed in comunicazione con la terra permette ad un altro corpo conduttore, che comunichi con una sorgente di elettricità, di ricevere da questa una carica maggiore, pur restando costante il potenziale, come se fosse aumentata la sua *capacità* di contenere cariche elettriche. Se la distanza tra i due conduttori si rende molto piccola, l'aumento di capacità potrà essere notevole.

Da questo fatto è nato il nome di *condensatore* dato all'apparecchio considerato finora e costituito dalle due armature affacciate, separate da un dielettrico, e di cui una è a terra.

La capacità elettrica non è però una proprietà esclusiva dei condensatori. Qualunque conduttore, pel fatto che si trova più o meno vicino alla terra, può considerarsi come una delle armature di un condensatore, di cui l'altra è la terra stessa.

Così ad esempio i fili che costituiscono l'aereo di una stazione radiotelegrafica, pel fatto che si trovano isolati e più o meno distanti dalla terra, costituiscono l'armatura isolata di un condensatore di cui la seconda armatura è la superficie del suolo sottostante. La capacità di un condensatore così fatto è piccola, perchè si tratta di fili di piccola superficie, ed è grande la loro distanza dalla terra (parecchi metri); però quando vi fossero molti fili e lunghi e non molto alti da terra, la capacità potrebbe essere notevole.

Le tre grandezze: *Q* carica elettrica di una armatura del condensatore; *C* capacità del condensatore; *V* tensione della carica, cioè d. d. p. fra le armature, sono legate fra di loro dalla seguente relazione:

$$Q = C\ V. \qquad (22)$$

---

(1) Si può anche vedere da questo esempio che la quantità di elettricità contenuta nei condensatori è sempre molto piccola; basta pensare che in un accumulatore portatile da 20 amperora la quantità accumulata è di 72.000 coulomb (nr. 20), cioè 18 miliardi di volte maggiore di quella contenuta nel condensatore ora descritto. Questa differenza è dovuta al fatto che nell'accumulatore l'elettricità è accumulata sotto forma di energia chimica e non direttamente sotto forma di masse elettriche.

Si deduce che aumentando C, restando costante V, aumenta la carica Q che può esser contenuta nel condensatore; oppure che aumentando C, essendo Q costante, diminuisce V tensione di carica.

42. - MISURA DELLE CAPACITÀ. — La capacità di un condensatore si suole misurare con la quantità di elettricità (coulomb) che esso può contenere su una armatura, quando la differenza di potenziale fra le due armature sia di 1 volta; oppure con il quoziente fra la carica (coulomb) contenuta in un'armatura e la differenza di potenziale esistente fra le due armature:

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (23)$$

È da tener presente che, per effetto della induzione elettrostatica, quando su un'armatura c'è la carica Q, sull'altra armatura, supposta collegata a terra, vi è la carica $-Q$. Se invece la seconda armatura è isolata, la sua carica sarà nulla, salvo che vi sia una carica residua, dovuta ad una carica precedente.

L'unità di misura di capacità è il *farad*, o, più generalmente, il *microfarad*, che è la milionesima parte del farad, od anche il *millimicrofarad*, che ne è la miliardesima parte ed il *micromicrofarad*. Nell'esempio del nr. 41 la carica di un'armatura era di 4 milionesimi di coulomb e la d. d. p. di 100 volta, la capacità era quindi di $^4/_{100}$ di milionesimo di farad, cioè $^4/_{100}$ di microfarad. Con la seconda armatura isolata, la carica diventava mille volte minore, con la stessa d. d. p., e quindi la capacità diventava pure mille volte minore, e cioè $^4/_{100}$ di millimicrofarad ovvero 40 micromicrofarad.

43. - ELEMENTI CHE VARIANO LA CAPACITÀ DI UN CONDENSATORE. — Un condensatore ha la capacità tanto maggiore quanto più sottile è il dielettrico interposto fra le armature, dato che la quantità di elettricità che può essere contenuta su una delle armature (quando l'altra è a terra), cresce a misura che diminuisce la distanza fra di esse. Inoltre, se le armature sono più ampie, la carica contenuta è maggiore e quindi maggiore è la capacità. Un altro dato influisce pure sulla capacità ed è la *natura* dell' isolante o dielettrico interposto fra le armature. Per ogni dielettrico è stato determinato un numero, detto *potere induttore specifico,* che rappresenta l' aumento di capacità che si ottiene in un determinato condensatore sostituendovi tale dielettrico all'aria. Il potere dielettrico è 5 per il vetro, 2 per l'ebanite, 8 per la mica; ciò significa che ad esempio un condensatore avente come dielettrico la mica ha capacità 8 volte maggiore di quella che avrebbe se il dielettrico fosse aria, restando uguali la forma, le dimensioni e la disposizione delle armature.

Il potere induttore specifico non è lo stesso per tutte le qualità di vetro o di ebanite o di mica, ma varia da un campione all'altro, intorno ai valori medi citati.

La capacità dipende dunque da questi tre fattori: 1° superficie delle armature: 2° grossezza del dielettrico; 3° natura del dielettrico, e si può calcolare con la seguente espressione:

$$C = 0{,}88\ \varepsilon\ \frac{S}{d} \qquad (24)$$

dove ε è il potere induttore specifico, S la superficie in cm.² delle armature affacciate, supposte parallele, d lo spessore del dielettrico, in $^{m}/_{m}$. C risulta espresso in μ.μ.f.

44. - RAGGRUPPAMENTO DELLE CAPACITÀ. — Il calcolo delle capacità in serie ed in parallelo è analogo a quelle delle resistenze di cui al nr. 29, ma le regole vanno invertite: cioè la regola per le resistenze in serie vale per le capacità in parallelo, e quella delle resistenze in parallelo per le capacità in serie. La capacità di una batteria di condensatori in parallelo si ottiene quindi sommando la capacità dei vari condensatori componenti, giacchè mettendo i conden-

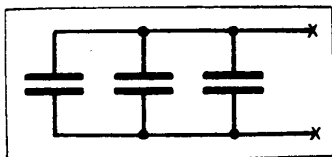



Fig. 31.

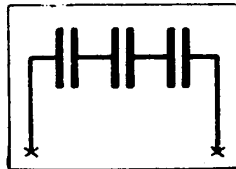



Fig. 32.

satori in parallelo, si viene a formare un condensatore unico in cui le armature hanno una superficie più grande, somma di tutte le armature, mentre il dielettrico ha mantenuto inalterato lo spessore (fig. 31).

Al contrario, la capacità di una batteria di condensatori in serie (fig. 32) ha valore minore di quella di ciascuno dei condensatori componenti. Infatti, aggiungendo ad un condensatore un altro in serie, le due armature definitive della batteria risultano separate da due dielettrici, mentre la loro superficie rimane la stessa: quindi la capacità deve riuscire minore di quella di ciascuno dei due. Se a questa se ne aggiunge una terza, i dielettrici diventano tre e quindi la capacità diminuisce ancora.

Per calcolare la capacità di una batteria in serie, si applica la stessa regola data per le resistenze in parallelo; cioè si considerano i primi due condensatori; la capacità di questa prima batteria è data dal prodotto delle due capacità componenti diviso per la loro somma:

$$C = \frac{C_2\ C_1}{C_1 + C_2} \qquad (25)$$

Calcolata questa prima batteria si considera quella che si ha aggiungendo il terzo condensatore: si fa ancora il prodotto e si divide per la somma e così via.

Ad esempio, se i condensatori hanno capacità 1, 2, 3, 4 microfarad, messi in serie, la capacità della batteria diventa 0.481 microfarad, come risulta dal calcolo analogo fatto per le resistenze.

Questa regola, nel caso che i condensatori siano tutti uguali, conduce a quella più semplice di dividere la capacità di uno per il numero dei condensatori. Infatti la capacità di una batteria di due condensatori in serie di un microfarad ciascuno è

$$\frac{1 \times 1}{1 + 1} = \frac{1}{2}; \text{ se fossero tre, sarebbe } \frac{\frac{1}{2} \times 1}{1 + \frac{1}{2}} = \frac{1}{3};$$

$$\text{se fossero 4, sarebbe } \frac{\frac{1}{3} \times 1}{1 + \frac{1}{3}} = \frac{1}{4} \text{ e così di seguito.}$$

45. - MASSIMA TENSIONE AMMISSIBILE NEI CONDENSATORI. — I vari isolanti usati come dielettrici nei condensatori possono resistere in misura limitata alle tensioni elettriche. La tensione massima sopportata per $^m/_m$ di spessore di ogni isolante si chiama *rigidità dielettrica,* ed è una caratteristica dell'isolante. La rigidità dielettrica dell'aria è di 2,3 chilovolta; del vetro 20; della mica 60; dell'olio di lino 8.5; dell'olio di vasellina 6. Queste cifre però non vanno intese in senso assoluto, poichè variano con lo spessore del dielettrico, ed anche col variare della purezza o provenienza del materiale isolante.

Nella pratica di impiego la tensione applicata ai condensatori non raggiunge mai la tensione di rottura, ma deve essere sempre una frazione (da $^1/_2$ ad $^1/_3$) di questa. Se pòi si tratta di una batteria di condensatori in parallelo, con dielettrici di natura differente, allora la massima tensione che può applicarsi è quella consentita dal dielettrico più debole. Nel caso di condensatori in serie, tutti eguali fra di loro, la tensione si distribuisce di solito regolarmente fra i vari dielettrici e quindi la tensione massima ammissibile è quella di un elemento moltiplicata per il numero di elementi.

46. - ENERGIA NEI CONDENSATORI. — Il dielettrico dei condensatori, che è sede del campo elettrico, immagazzina un'energia che dipende dalla carica di un'armatura e dalla differenza di potenziale fra le armature. Il concetto è precisamente analogo a quello dell'energia contenuta in un serbatoio che abbia una certa quantità d'acqua e sia posto ad un dato dislivello sul suolo: l'energia disponibile è rappresentata dalla quantità d'acqua moltiplicata per il dislivello. Nel condensatore una delle armature si considera a potenziale zero; e corrisponde al caso del serbatoio che abbia il fondo al livello del suolo. Se in un tale serbatoio H è l'altezza della superficie d'acqua, a misura che l'acqua si scarica il potenziale suo va diminuendo, e l'energia sviluppata è perciò soltanto quella corrispondente a metà dell'altezza; e cioè

$$J = Q \times \frac{1}{2} H$$

Nel caso del condensatore si ha corrispondentemente

$$J = Q \times \frac{1}{2} V$$

e poichè $Q = C V$ si ha

$$J = \frac{1}{2} C V^2 \qquad (26)$$

espressione dell'energia contenuta in un condensatore. Se C è espresso in μF. e V in kilovolta, J risulta espresso in joule.

47. - Tipi di condensatori - Condensatori di trasmissione. — I condensatori sono molto impiegati in radiotelegrafia, ed assumono forme varie a seconda degli scopi cui devono servire. Si possono così avere condensatori di

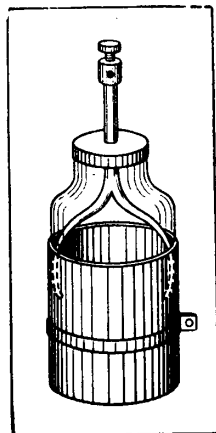



Fig. 33.

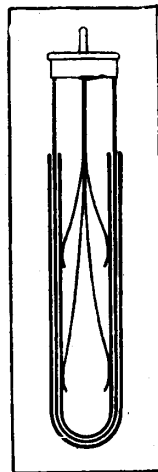



Fig. 34.

trasmissione o di ricezione, condensatori a capacità fissa o a capacità variabile. In genere la denominazione di condensatore si dà a delle vere e proprie batterie, con collegamento in serie od in parallelo, a seconda le necessità, e cioè a seconda se devono sopportare tensioni rilevanti o se devono avere capacità elevate.

La forma classica del condensatore è quella della bottiglia di Lejda (fig. 33); ma in radiotelegrafia si impiegano più comunemente altre forme.

Ad es. nella trasmissione, a seconda del tipo e della potenza del trasmettitore, si adoprano condensatori a lastre di vetro o di mica, oppure tubolari, e riuniti sempre in batteria.

Nelle stazioni a scintilla si usavano prevalentemente batterie di condensatori a lastre di vetro in cassette di legno riempite di olio isolante. In un tipo abbastanza usato ogni cassetta contiene 30 lastre di vetro, con armature di dimensioni 343 × 138 m/m., collegate in parallelo.

Nelle stazioni di tipo mobile o semifisso e di media potenza erano preferibilmente impiegati condensatori tubolari, costituiti da un tubo di vetro speciale, a fondo emisferico, rivestito internamente ed esternamente da armature di rame depositato elettroliticamente. Il contatto sull'armatura interna è fatto con bacchette metalliche, collegate ad uno stelo che esce dal tubo attraverso ad un tappo di materiale isolante (fig. 34). Si riuniscono in batterie in parallelo mediante due piastre, una inferiore munita di tante sedi circolari, con anelli metallici, sui quali fa contatto la parte emisferica della armatura esterna; una superiore, provvista di tanti bottoni a molla ed a vite per far contatto con le teste degli steli dell'armatura interna. L'armatura esterna è verniciata (salvo nella parte emisferica) con vernice di gommalacca, per protezione contro l'umidità e contro gli effluvi sull'orlo.

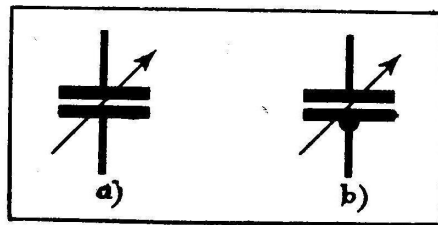



Fig. 35.

Le stazioni più moderne impiegano di preferenza batterie a lastre di mica, di differenti dimensioni, a seconda la capacità e la tensione che devono sopportare, chiuse in cassette di legno o metalliche e protette da paraffina che viene colata mentre le lastre

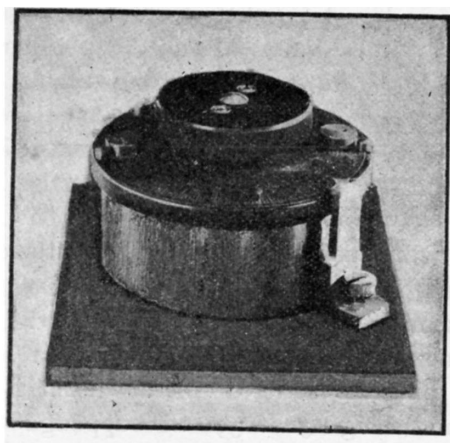



Fig. 36.

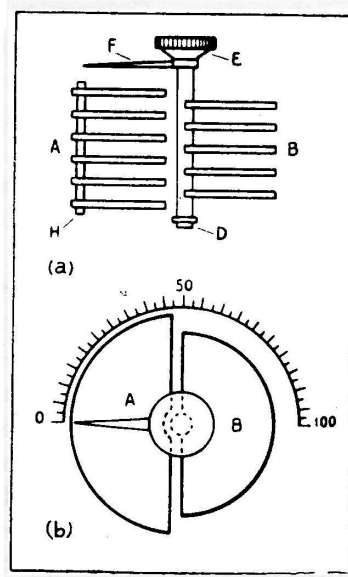



Fig. 37.

sono tenute sotto pressione e sotto l'azione di una pompa che aspira l'aria. Ciò allo scopo di evitare bolle d'aria che, dando luogo a fenomeni di riscaldamento locale, potrebbero provocare la perforazione del dielettrico.

Quando occorrano piccole capacità per alte tensioni, si usano condensatori ad aria, con grandi lastre di rame o di alluminio, bene isolate e parallele.

48. - CONDENSATORI A CAPACITÀ VARIABILE. — Per i condensatori variabili il segno convenzionale non è più quello della fig. 29, bensì quello della fig. 35 *a)*; se poi si vuol indicare l'armatura mobile, questa si segna con un punto sulla lineetta, come nella fig. 35 *b)* od anche la si disegna a forma di arco.

I condensatori a capacità variabile sono usati in trasmettitori di piccola potenza ed in tutti gli apparecchi riceventi. Sono in genere del tipo a dischi; ma se ne possono immaginare di altre forme, in genere meno comode.

Il condensatore a dischi può avere per dielettrico l'aria oppure fogli di ebanite o di bachelite o di mica. Il suo aspetto esterno risulta dalla fig. 36; quello

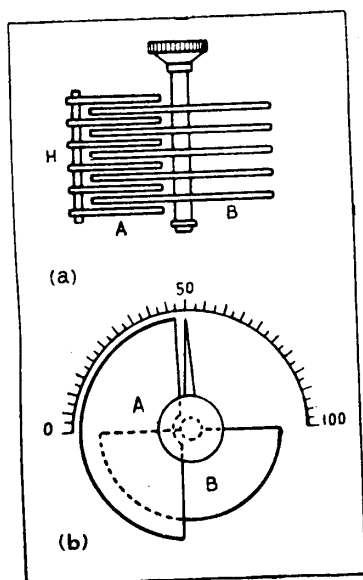



Fig. 38.

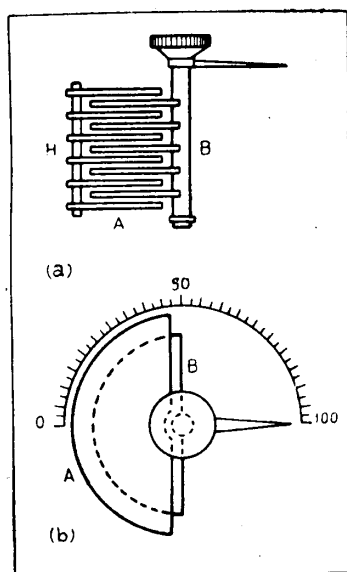



Fig. 39.

interno può rappresentarsi con la fig. 37, nella quale è indicata la costituzione del tipo più semplice che è la seguente:

Un certo numero di dischi metallici semicircolari, A, sono attaccati rigidamente per la loro periferia ad un sostegno fisso H che li mantiene tra loro paralleli e tanto distanti da permettere ad un'altra serie di mezzi dischi B di entrare nei loro intervalli, come mostrano le fig. 38 e 39. Si supponga che tutti questi dischi abbiano sulla faccia superiore uno strato di materiale isolante, ad es., ebanite, in modo che quando le due serie vengono a sovrapporsi, i dischi rimangono fra di loro elettricamente isolati. I dischi B siano inoltre attaccati ad uno stelo D, sormontato da un pomo E con un indice F, girevole intorno al suo asse verticale: ruotando lo stelo D a mezzo del suo pomo, si faranno penetrare più o meno i mezzi dischi B negli intervalli dei dischi A; in modo cioè che le superfici affacciate di questi dischi saranno più o meno grandi. Se ora

si suppone che i dischi A, che sono metallicamente riuniti al sostegno H, costituiscano una armatura, e che i dischi B, che sono metallicamente uniti allo stelo D, costituiscano l'altra armatura di un condensatore, di cui i rivestimenti intermedi di ebanite costituiscono il dielettrico, allora la capacità di tale condensatore aumenterà a misura che i dischi A si sovrappongono ai dischi B, perchè aumenterà la superficie affacciata delle due armature.

Questo sistema di dischi costituisce una batteria di condensatòri in parallelo, di cui gli elementi componenti sono formati dalle varie coppie di dischi affacciati A e B (armature) e dai dielettrici interposti. La capacità totale è quindi la somma di tutte le capacità componenti, cioè la capacità di una coppia di armature, moltiplicata pel numero delle coppie: più esattamente è la capacità di una coppia di armature affacciate, moltiplicata per il numero dei *dielettrici*, cioè per il numero totale delle lamine (fisse e mobili) diminuito di uno.

Ad ogni posizione delle armature mobili, e quindi dell' indice fissato al pomo che le comanda, corrisponde un valore della superficie affacciata delle armature e quindi un valore della capacità del condensatore.

Essa è massima nella posizione della fig. 39 in cui tutti i dischi A sono completamente affacciati a quelli B; è minima nella fig. 37 in cui i dischi non sono per nulla affacciati; è intermedia nella fig. 38 in cui essi sono affacciati per metà.

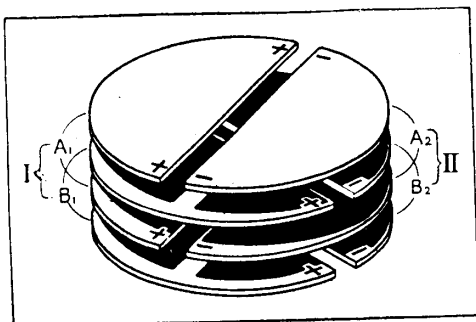
La variazione totale della capacità, dal massimo al minimo valore, può essere molto grande, perchè dipende dal numero dei dischi, che può essere grande (essendo i dischi molto sottili), anche in piccolo spazio. L' indice F, che si muove sulla graduazione G insieme ai dischi A, è disposto in modo da segnare zero nella posizione di capacità minima (fig. 37) e 100, oppure 90, oppure 180 nella posizione di capacità massima (fig. 39). Lo stesso condensatore può costruirsi lasciando come dielettrico l'aria, e tenendo più intervallati fra di loro i mezzi dischi delle armature, per modo da impedire che eventuali piccole deformazioni diano luogo a contatti interni. Speciali accorgimenti si hanno nel disegno e nella costruzione dei condensatori ad aria, quando si debba soddisfare a particolari condizioni.

Il condensatore a tamburo Marconi, che risulta dalla riunione di due condensatori del tipo già descritto, riduce anche maggiormente il volume per un dato valore di capacità. I mezzi dischi fissi A_1 e A_2 (fig. 40) disposti sullo stesso piano, formano due serie elettricamente separate; i mezzi dischi mobili B_1 e B_2 pure disposti in uno stesso piano, e alternati coi mezzi dischi A_1 A_2 ne formano altre due, pure elettricamente isolate fra loro. Dei dischi interi di carta di ebanite non segnati nella figura, sono disposti, alternandole, fra le lamine metalliche affacciate (1). Un condensatore completo comprende parecchi piani come quelli della figura. Tutti i dischi A_1 sono tra loro metallicamente collegati; lo stesso dicasi dei dischi A_2 e di quelli B_1 e B_2. Inoltre, con collegamenti esterni, la serie A_1 è unita alla B_1, e la A_2 alla B_2, in modo che il complesso A_1 (fisso) e quello

(1) Può però aversi anche l' aria come dielettrico.

B_1 (mobile) formano un'armatura del condensatore, mentre l'altra armatura è costituita dai complessi A_2 (fisso) e B_2 (mobile). I due complessi mobili sono collegati metallicamente a due semicorone di ottone tra loro isolate e disposte sulla periferia di un disco isolante che fa da coperchio al condensatore e che gira comandato da una manetta.

Fig. 40.

Quando B_1 è sovrapposto ad A_1, e B_2 ad A_2, la capacità è minima, mentre quando B_1 è sovrapposto ad A_2, e B_2 ad A_1, la capacità è massima.

49. - CONDENSATORI SPECIALI (A DISCHI CON PROFILO SPECIALE; VERNIERI O MICROMETRICI CON MOVIMENTO A VERNIERO; DIFFERENZIALI; COMPENSATORI). — Nel condensatore a dischi semicircolari, descritto al numero precedente, la variazione di capacità, che si ottiene con la sovrapposizione graduale dei dischi mobili rispetto a quelli fissi, è lineare, cioè funzione semplice dell'ampiezza dell'angolo di cui ruota l'armatura mobile. La graduazione di riferimento dell'indice collegato all'armatura mobile è segnata da 0 a 90 oppure a 180, come già detto; per modo che, portando su un asse orizzontale, a partire da un punto zero, tanti segmenti eguali, segnati successivamente 10, 20,... 90; e portati sulle verticali, inalzate dai detti punti, dei segmenti proporzionali ai valori della capacità, si ottengono dei punti che collegati fra di loro danno luogo approssimativamente ad una retta obliqua (fig. 41). La figura 41 è appunto la curva di taratura (o il diagramma di taratura) di un condensatore a variazione lineare. Per avere i valori di capacità di un condensatore variabile, è dunque necessario ricercarli sulla curva, in corrispondenza dei valori che si leggono sulla graduazione, di fronte alle successive posizioni dell' indice.

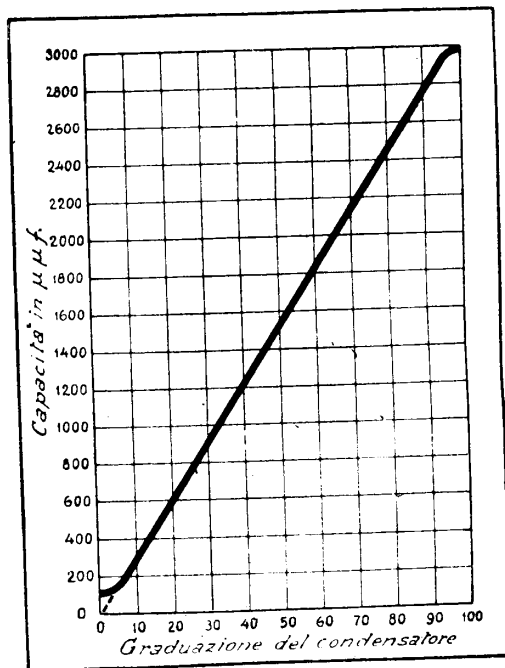



Fig. 41.

Ora talvolta tale variazione lineare non è conveniente. Se si vuole segnare la graduazione del condensatore non in gradi, ma in lunghezze d'onda, allora si ha che la graduazione non è regolare, perchè la lunghezza d'onda, come si vedrà in seguito, è proporzionale a $\sqrt{C}$, ed i tratti si trovano quindi più riavvicinati in corrispondenza delle onde più corte e cioè verso la parte più bassa della scala; di modo che una variazione del condensatore sulle onde corte risulta molto più delicata che su quelle lunghe.

Per ottenere l'uniformità della graduazione in lunghezza d'onda, si devono adoperare condensatori a variazione quadratica di capacità. A questo scopo è necessario modificare il profilo delle lastre mobili del condensatore, le quali non sono più semicircolari,

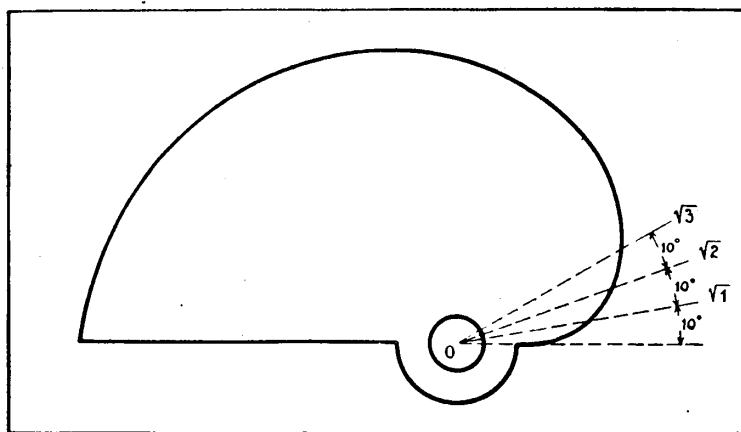



Fig. 42.

ma invece hanno la forma rappresentata nella fig. 42, ottenuta riunendo i punti che risultano portando su tante rette radiali uscenti da o e tracciate ad es. di 10 in 10 gradi, dei segmenti proporzionali a $\sqrt{1}$, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$, ecc. In altri condensatori il profilo speciale è dato alle armature fisse, lasciando a quelle mobili la forma semicircolare.

Un profilo alquanto diverso risulta quando si voglia ottenere che a eguali spostamenti dell'armatura mobile corrispondano eguali variazioni della frequenza del circuito in cui è inserito il condensatore

Nei ricevitori per onde corte si impiega talvolta, in parallelo su un condensatore normale, un condensatore *verniero*, che è un condensatore a piccolissima capacità, comprendente due sole lamine, una mobile ed una fissa, il quale può essere separato, oppure unito allo stesso scheletro del condensatore principale. In quest'ultimo caso, il bottone di comando dell'armatura mobile è in due parti; una comanda il verniero, l'altra il condensatore. Analoghi al verniero sono i cosidetti neutro-condensatori, il cui valore di capacità oscilla da 10 a 30 $\mu\mu$F., e che si regolano una volta tanto nella taratura degli apparati.

Invece di usare un condensatore verniero, si può disporre sul condensatore normale un movimento micrometrico od a riduzione. Ad esempio si può avere un bottone che comanda un eccentrico, il quale fa spostare lentamente l'armatura mobile di un dato angolo, per esempio un grado, in più od in meno, rispetto alla posizione in cui si trova. Oppure si può avere un bottone di comando riduttore, e cioè un bottone che non manovra direttamente sullo stelo dell'armatura mobile, ma con l'intermedio di un rotismo riduttore, per modo che per es. per eseguire un mezzo giro completo dell'armatura mobile occorre fare dieci o più giri al bottone.

Si possono anche costruire condensatori differenziali (Sacco) a variazioni lineari di capacità o di lunghezza d'onda o di frequenza, nei quali l'armatura mobile non è costituita da elementi a forma di un semplice mezzo disco, ma di un disco completo, avente profili speciali, che rispondono alla voluta legge di variazione della capacità.

In taluni ricevitori a valvole, ed in apparecchi di radiogoniometria si impiega anche un condensatore *compensatore*, il quale è costituito (fig. 43) da due armature fisse disposte nello stesso piano, limitate a due settori circolari ad es. di 90° l'uno; e da una armatura

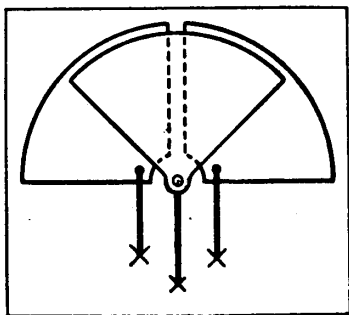



Fig. 43.

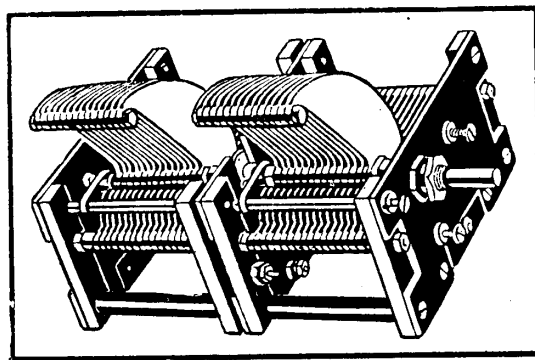



Fig. 44.

mobile, la quale di tanto si allontana da un'armatura fissa, di altrettanto si avvicina all'altra: e cioè si hanno due condensatori con una armatura comune, tali che all'aumentare della capacità dell'uno corrisponde diminuzione di capacità nell'altro. Si possono riunire diversi di tali elementi per avere maggiore capacità; e si può mettere come dielettrico la mica o altro isolante, anzichè l'aria.

Nel montaggio dei condensatori, specie per la ricezione, si possono poi avere disposizioni speciali: ad es. si può racchiudere il condensatore in una scatola metallica (schermo) che è collegata ad una delle armature, quella mobile. Oppure due o tre condensatori, che fanno parte di circuiti differenti, possono essere montati su un unico asse, in modo da poterli comandare tutti insieme, con una sola manovra (fig. 44) (condensatori in tandem).

50. - CONDENSATORI NEI CIRCUITI. — Se si introduce un condensatore in un circuito a corrente continua, la corrente resta interrotta dal dielettrico, che è isolante. Ciò non avviene con le correnti alternate. Infatti queste ultime cor-

renti non consistono in un passaggio di cariche elettriche in una direzione fissa, ma solo in un movimento alternativo delle cariche, ora in un senso, ora nel senso opposto (nr. 34); un condensatore non impedisce questo movimento, ma solo lo diminuisce di ampiezza. Il suo dielettrico si comporta infatti come una membrana elastica posta in un tubo conduttore di acqua: una tale membrana impedirebbe evidentemente il passaggio continuo dell'acqua, ma non la propagazione di un movimento dell'acqua che alternativamente premesse in un senso e nel senso opposto.

Inoltre, se la membrana elastica è molto sottile e larga, essa lascierà passare più facilmente i movimenti alternativi dell'acqua; così pure, se questi movimenti sono molto rapidi e quindi brevi, essi cimentano meno l'elasticità della membrana, e si propagano più facilmente dei movimenti lenti.

Un fenomeno analogo avviene nel dielettrico dei condensatori inseriti nei circuiti a corrente alternata. Se la corrente è rapidamente alternata e se la superficie del condensatore è larga e il dielettrico è sottile (e cioè se il condensatore ha grande capacità), il movimento delle cariche si propaga con facilità; in caso contrario troverà maggiore difficoltà. Si può quindi dire che un condensatore in un circuito a corrente alternata, diminuisce l'intensità della corrente, ma la diminuisce tanto meno quanto più alte sono la capacità del condensatore e la frequenza della corrente.

Matematicamente si esprime questo concetto dicendo che un circuito comprendente in serie una capacità ed una resistenza e che sia alimentato da una f. e. m. alternata si comporta come se la resistenza fosse aumentata per effetto della capacità; e la corrente anzichè essere $\frac{E}{R}$ sarà

$$I_{eff} = \frac{E_{eff}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2 \pi n C}\right)^2}} \qquad (27)$$

essendo R la resistenza ohmica, $\pi = 3{,}14$, n la frequenza della corrente e C la capacità del condensatore.

Nel caso che la resistenza R sia piccola e trascurabile rispetto al valore $\frac{1}{2 \pi n C}$, la corrente sarà determinata solo da questa e sarà data da $I = E . 2 \pi n C$. Il termine

$$\frac{1}{2 \pi n C} \qquad (28)$$

dicesi *reattanza di capacità,* e si misura in ohm, come le resistenze, quando C è in farad, ed n è misurata in periodi al secondo. Anche il denominatore $\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2 \pi n C}\right)^2}$ si misura in ohm, e dicesi *impedenza.*

CAPITOLO III.

Magnetismo - Effetto magnetico della corrente - Induttanza.

51. - CALAMITE O MAGNETI. — Esiste in natura un minerale detto *magnetite* (ossido magnetico di ferro) od anche *calamita naturale,* le cui proprietà fondamentali sono: 1.° quella di attirare la limatura di ferro; 2.° quella di disporsi nella direzione *nord-sud,* quando esso sia ridotto in forma di sbarrette sospese orizzontalmente, libere di muoversi (bussola dei naviganti); quella delle sue estremità che si volge al nord si chiama *polo nord,* l'altra *polo sud.* Tali proprietà possono comunicarsi anche ad un pezzo di acciaio opportunamente disposto contro un pezzo di magnetite, o sottoposto ad un trattamento speciale. Il corpo preparato così artificialmente vien detto calamita o magnete permanente. Ogni calamita ha un polo nord ed un polo sud, che si distinguono perchè attirano rispettivamente il polo sud o quello nord dell'ago calamitato di una bussola. Una proprietà fondamentale delle calamite naturali o artificiali è quella della attrazione fra poli opposti e della repulsione fra poli omonimi. Tali attrazioni e repulsioni, analoghe a quelle che si hanno fra le cariche elettriche, decrescono rapidamente con l'aumentare della distanza tra i poli magnetici o fra le cariche elettriche.

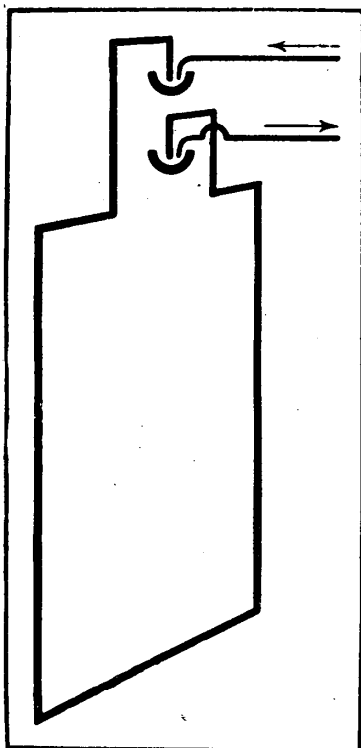



Fig. 45.

52. - EFFETTO MAGNETICO DELLA CORRENTE. — Se si forma una spira con un conduttore, oppure una spirale, si sospende in modo che possa ruotare intorno ad un asse verticale (fig. 45), e si fa percorrere da una corrente elettrica, si vedrà

che essa si comporta esattamente come un magnete, poichè ne acquista le due proprietà fondamentali sopraddette. Se mentre circola la corrente si introduce nell' interno della spirale una sbarretta d'acciaio e poi la si estrae, si verificherà che essa è diventata un magnete permanente.

53. - ELETTROCALAMITA. — Se nell' interno della spirale (che assume più spesso il nome di bobina), invece di una sbarretta di acciaio se ne introduce una di ferro dolce, si verificherà che pure quest'ultima acquista la proprietà dei magneti, finchè la spirale è percorsa dalla corrente ; ma tale proprietà cessa col

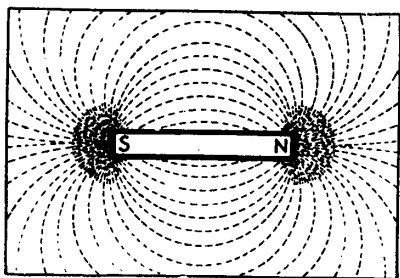



Fig. 46.

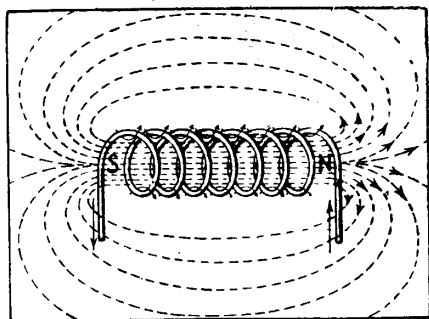



Fig. 47.

cessare della corrente. Siffatto dispositivo costituisce un magnete temporaneo, ossia una *elettrocalamita,* in quanto la sbarretta diventa e rimane calamita solamente sotto l'azione della corrente elettrica.

54. - CAMPO MAGNETICO. — Se sopra un foglio di carta, disposto orizzontalmente sui due poli di una calamita, si fa cadere con un setaccio della limatura di ferro, si vedrà che questa, magnetizzandosi, si dispone lungo speciali linee che vanno dall'uno all'altro polo della calamita, più fitte presso i poli e molto più rade nella zona equidistante da questi (fig. 46).

Tali linee sembrano uscire dal polo nord e, ripiegandosi, entrare dal polo sud. Tutte le linee sono complete, ed hanno il loro sviluppo parte nell' interno della sbarretta e parte nello spazio circostante. La figura che si ottiene sulla carta, e che vi si può fissare se la carta stessa è stata in precedenza spalmata di un sottile strato di cera, prende il nome di spettro magnetico; esso comprende solo le linee esterne alla sbarretta, e non quelle interne, perchè queste ultime sono mascherate dal metallo e non fanno sentire la loro azione sulla limatura. Lo spettro ottenuto sulla carta è la sezione, secondo un piano contenente l'asse, di una figura di rivoluzione che circonda tutto il magnete e che contiene tutte le linee ora dette.

Effetto uguale al precedente si ottiene se invece di una calamita si pone sotto il foglio di carta una elettrocalamita, anche se essa manca del nucleo di

ferro, cioè se si riduce ad una semplice spirale percorsa da corrente (fig. 47). Anche in questo caso le linee hanno un orientamento, in quanto escono dall'estremità nord della spirale e rientrano per quella sud. Inoltre le linee sono chiuse, sviluppandosi sia nell' interno della spirale che al di fuori, non essendo questa volta mascherate dal metallo.

Le linee lungo le quali si dispongono le particelle di limatura si dicono *linee di forza magnetica,* e diconsi *forze magnetiche* quelle forze speciali che esistono intorno alla calamita ed alle spirali percorse da corrente, e che obbligano la limatura a disporsi in tal modo. Dette forze sono più intense nelle vicinanze immediate dei magneti e si indeboliscono a misura che cresce la distanza dai magneti stessi. Lo spazio tutt' intorno ad un magnete nel quale si manifestano

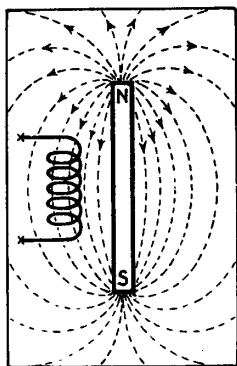



Fig. 48.

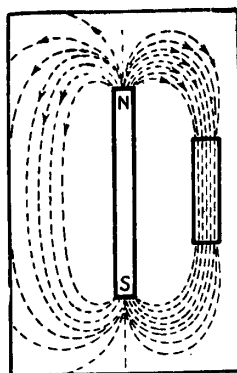



Fig. 49.

le forze magnetiche dicesi *campo magnetico.* Esso è caratterizzato dall' insieme delle linee di forza che circondano il magnete, e presenta una grande analogia con il campo elettrico che esiste intorno ai corpi elettrizzati.

Un altro fenomeno può rivelare l'esistenza delle linee di forza magnetica, ed è offerto dall'ago calamitato della bussola, il quale, avvicinato che sia al corpo magnetico, si dispone appunto secondo la direzione delle linee di forza emanate dal corpo.

Resa così evidente l'esistenza delle forze magnetiche intorno ai magneti, è facile rilevare che, se uno di essi si muove vicino ad una spirale, le sue linee di forza intersecheranno in modo vario le spire di questa. Lo stesso avverrebbe se si movesse la spirale vicino al magnete (fig. 48): in questa intersecazione si producono fenomeni elettrici che verranno esaminati più avanti.

55. - Permeabilità magnetica. — Lo spettro magnetico presenta una concentrazione di linee di forza in corrispondenza della sbarretta calamitata, mentre tali linee si disperdono di più nell'aria circostante. Ciò si esprime dicendo che il metallo offre maggiore facilità al passaggio di tali linee che non l'aria, e quindi ha maggiore permeabilità magnetica. Se nel campo della calamita si dispone una sbarra di ferro (fig. 49) o d'ac-

ciaio (e cioè di materiale magnetico), si vedrà dallo spettro che le linee di forza si riuniscono lungo la sbarra e la percorrono, dimostrando così che la strada nel metallo è più facile che nell'aria. In tal modo il flusso magnetico generato dalla calamita si concentra nella sbarra metallica. La sbarra però, pur essendo più permeabile dell'aria, presenta sempre una certa difficoltà al passaggio delle linee di forza (del flusso magnetico), che viene chiamata *riluttanza* magnetica e che dipende dalla natura del metallo, dalla lunghezza della sbarra e dell'area della sua sezione. La riluttanza è grandissima nei materiali non magnetici (l'aria ad es.) e cresce con l'aumentare della lunghezza e con il diminuire della sezione del circuito, analogamente a quanto avviene per la resistenza elettrica.

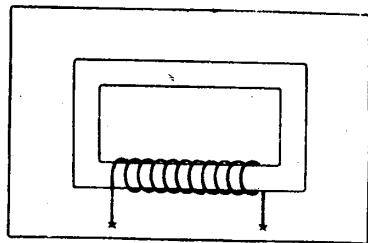



Fig. 50.

Si può far passare il flusso magnetico di una bobina in un circuito che non sia misto, e cioè parte in ferro (o derivato), e parte in aria, ma tutto in ferro: basta a tale scopo disporre un'armatura magnetica come nella fig. 50; allora questa costituisce un circuito magnetico che si dice chiuso, e presenta pochissima riluttanza. Sarebbe però sufficiente ricavare una piccola interruzione nel materiale magnetico costituente il circuito, per farne aumentare moltissimo la riluttanza. Una tale piccola interruzione in un circuito magnetico dicesi *intraferro*.

56. - INDUZIONE ELETTROMAGNETICA. — Se in una spirale di filo conduttore avvolto su un tubo di carta o di legno si introduce un magnete permanente od una calamita, si può constatare con strumenti adatti, che nella spirale si produce della elettricità, e ai suoi estremi una d. d. p., finchè la calamita vien tenuta in movimento nel senso dell'asse della spirale (fig. 51). Appena la calamita si ferma, cessa anche la produzione di elettricità. Questo fenomeno dicesi *induzione elettromagnetica*. La elettricità così prodotta si manifesta con una corrente elettrica, quando si uniscano tra di loro i due capi della spirale. A mezzo degli strumenti si può osservare che il senso della corrente si inverte tutte le volte che viene invertito il movimento della calamita.

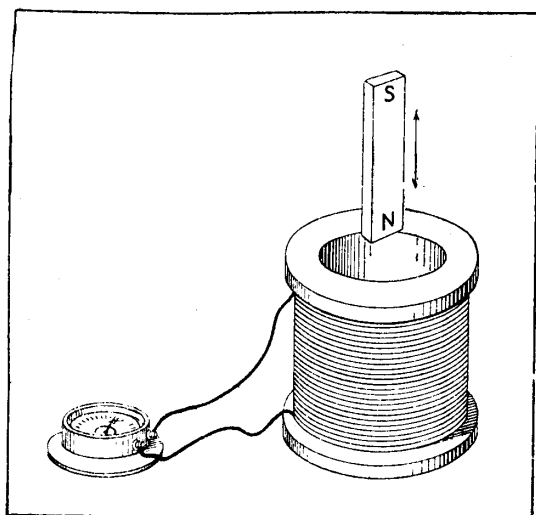



Fig. 51.

Lo stesso effetto si produce se invece della calamita si usa una elettrocalamita od anche soltanto una seconda spirale percorsa da corrente, ancorchè in

essa manchi il nucleo di ferro o di acciaio (fig. 52), purchè la spirale sia sempre in moto. Una *corrente indotta* si può parimenti ottenere se, invece di muovere l'elettrocalamita nell' interno della spirale, si fa semplicemente variare la corrente che circola nell'elettrocalamita, come accade aprendone e chiudendone alternativamente il circuito (fig. 53). In conclusione si può ottenere una corrente indotta nella spirale primitiva comunque si vari la posizione del magnete che sta nel suo interno, o meglio, comunque varii il numero delle linee di forza (create da un magnete o da una elettrocalamita) che intersecano il circuito elettrico. I *rocchetti d' induzione* sono fondati su questa proprietà: una spirale esterna *S*, detta *secondario* (fig. 53), porta nel suo interno un'elettrocalamita *P*, detta *primario;*

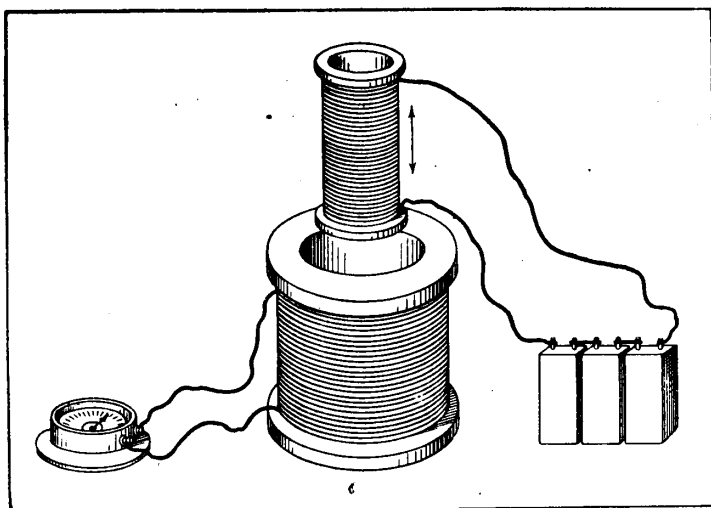



Fig. 52.

variando la corrente in questa, si ottengono delle correnti indotte nel secondario, per tutto il tempo durante il quale varia quella del primario.

Siccome in tutti questi casi c'è una modificazione del campo magnetico, ossia una variazione delle linee di forza magnetica rispetto ai fili conduttori che esse intersecano, così si può dire in generale che: *se una spirale di filo conduttore (od anche una parte elementare di essa) si sposta in un campo magnetico, così da intersecare in varia misura le linee di forza, si produce in essa una f. e. m. per tutto il tempo durante il quale c'è variazione del numero delle linee di forza intersecate, qualunquè sia la causa che ha determinato tale variazione.* Di più si può dire che la f. e. m. generata è proporzionale alla rapidità con cui varia il numero di linee di forza intersecate dal circuito elettrico. Ciò accade tanto nel caso in cui il filo si muove attraverso il campo magnetico, quanto in quello reciproco in cui il campo si sposta rispetto al filo, come pure in ogni altro caso in cui, fermi restando sia il filo che la sorgente magnetica, le linee di forza da questa

emesse aumentano o diminuiscono di numero, come avviene precisamente nei rocchetti di induzione, nei quali entrambe le spirali sono ferme e si modificano invece le linee di forza, che vengono generate od annullate dallo stabilirsi o dal cessare della corrente nel circuito primario: in questa alternativa di generazione e di sparizione, le linee di forza vengono appunto ad intersecare in modo variabile la spirale secondaria e si produce perciò nel circuito una f. e. m. di *induzione* o indotta.

57. - Mutua induzione. — Nel caso della fig. 53 il fenomeno di induzione e. m. si manifesta fra due circuiti messi in presenza l'uno dell'altro o, come si dice anche, accoppiati. Per ogni variazione di corrente nel circuito primario, si

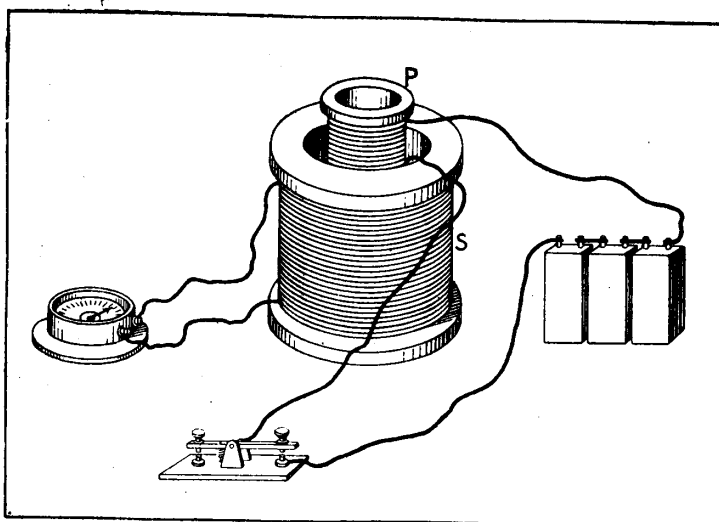



Fig. 53.

genera una corrente indotta nel secondario per tutto il tempo per cui dura la variazione. Il valore della f. e. m. indotta non dipende però dalla sola variazione del flusso del primario, ma piuttosto dalla variazione del flusso concatenato col secondario, cioè del flusso che rispetto a quest'ultimo circuito si trova allacciato come le maglie di una catena. Il secondario sentirà infatti più o meno l'azione del campo e. m. variabile, a seconda se è molto vicino al primario, oppure se ne è più distante; e cioè a seconda se l'accoppiamento è stretto oppure lasco, perchè nel primo caso le linee di flusso che entreranno nel secondario (concatenate con questo) saranno più numerose, e nel secondo caso meno numerose.

Per ogni definita posizione reciproca delle due bobine, se il mezzo in cui si manifesta il campo è di permeabilità magnetica costante, la f. e. m. indotta nel secondario è proporzionale, secondo un coefficiente M di proporzionalità, alla variazione dell'intensità della corrente nel primario. Il coefficiente M, che varia

dunque con la posizione reciproca delle bobine, si chiama *coefficiente di mutua induzione* dei due circuiti, ed è una grandezza dipendente solo dalla forma e disposizione geometrica reciproca dei due circuiti.

58. - INDUTTANZA. — Si è veduto ai nr. 52 e 54 che è possibile produrre un campo magnetico con una corrente elettrica, facendola passare in una spirale di filo conduttore, avvolta o no su nucleo di ferro. L'esperienza dimostra che, quanto più *numerose* sono le spire della spirale e quanto più esse sono *ampie* e *ravvicinate,* tanto più intenso risulta il campo magnetico, e quindi più intensi ne sono gli effetti (attrazione di pezzi di ferro, deviazione degli aghi magnetici, effetti di induzione elettromagnetica, ecc.).

Questo fatto si esprime dicendo che un circuito contenente molte spire, e molto avvicinate ed ampie, ha grande *autoinduzione* o *induttanza.* L' induttanza è quindi una proprietà dei circuiti inerente agli *effetti magnetici* che il circuito può produrre quando è percorso da corrente, e specialmente all' intensità del campo magnetico che viene generato: quanto più questo è intenso, tanto maggiore è l' induttanza e viceversa.

L'effetto della induttanza del circuito si manifesta ogni qualvolta si hanno *variazioni nella intensità* della corrente che lo percorre. Infatti se la corrente aumenta, il campo magnetico aumenta esso pure, e poichè tale aumento equivale ad avvicinare una calamita al circuito, così in esso si genera una f. e. m. per induzione elettromagnetica. La stessa cosa avverrebbe se la corrente diminuisse; cosicchè si può dire che ad ogni variazione di corrente si produce una f. e. m. di induzione, che nel caso particolare vien detta anche di *autoinduzione,* perchè è prodotta dal circuito su se stesso. L'autoinduzione è dunque un caso particolare della mutua induzione, nel quale il circuito primario e quello secondario sono sovrapposti, anzichè essere separati. Siccome questa f. e. m. di autoinduzione è tanto più grande quanto più intenso è il campo magnetico che varia, cioè quanto maggiore è la *induttanza* del circuito, così ne segue che l' induttanza è la caratteristica da cui dipende l'entità dei fenomeni di autoinduzione, ed è perciò anche detta *coefficiente di autoinduzione.*

Si è poi rilevato che la f. e. m. di autoinduzione, che si produce nei circuiti, ha sempre una direzione tale da *opporsi alla variazione* di corrente che genera la f. e. m. stessa: così, quando la corrente aumenta, la f. e. m. generata tende a contrastare l'aumento, a renderlo meno rapido; quindi si oppone alla f. e. m. applicata. Quando invece la corrente diminuisce, la f. e. m. di autoinduzione tende a contrastare la diminuzione, cioè a prolungare la durata della corrente: perciò essa va in aumento della f. e. m. del circuito.

L'effetto della induttanza si può paragonare a quello della *inerzia* dei corpi. Si sa, ad esempio, che un treno che si mette in moto impiega sempre un certo tempo a raggiungere la velocità di regime e che, una volta in moto, impiega un certo tempo per fermarsi; ciò è dovuto dalla *inerzia,* che *si oppone alle variazioni* della velocità.

Analogamente l' induttanza si oppone alla f. e. m. agente quando la corrente aumenta e concorda con la f. e. m. agente quando la corrente tende a diminuire; essa cioè *si oppone alle variazioni* della corrente.

59. - Misura dell' induttanza. — L' induttanza si misura in *henry* (H) (1) od in *microhenry* (μ H) (la milionesima parte di un henry) e si indica con il simbolo *L*. Il segno convenzionale per rappresentarla nei circuiti è quello della fig. 54 *a*) per le induttanze fisse, e quello 54 *b*) per le induttanze variabili. La mutua induzione si misura egualmente in henry e in microhenry.

60. - Raggruppamento delle induttanze. — Le *induttanze* si comportano come le resistenze; cioè messe in serie (fig. 55) si sommano, e messe in parallelo (fig. 56) si riducono, contenendosi per il calcolo con la stessa regola delle resistenze in parallelo. Nell'applicare tale regola alle induttanze, si deve però tener presente che essa è valida solo nel caso in cui le induttanze componenti siano tutte tra loro lontane, o bene schermate, in modo cioè che i campi magnetici generati dalle varie induttanze non si intreccino l'uno con l'altro. Nel caso in cui le induttanze siano molto vicine, ciascuna di esse subirà l' influenza dei campi magnetici delle altre e l'effetto verrà modificato secondo che questa influenza reciproca sarà più o meno forte, e secondo che i vari campi hanno direzioni concordanti o contrastanti. Come già visto questa reciproca influenza è caratterizzata dalla mutua induzione fra i circuiti, ed in tali casi il calcolo della induttanza risultante è più complesso. Un caso di due induttanze in serie con mutua induzione fra di esse

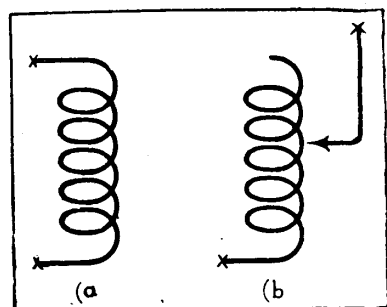



Fig. 54.

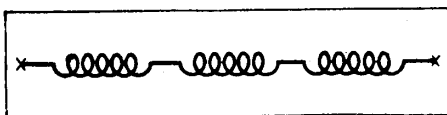



Fig. 55.

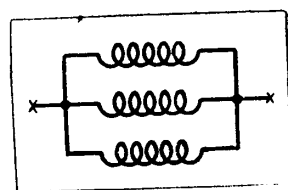



Fig. 56.

è quello del variometro (nr. 64); in esso la induttanza totale varia al variare della m. i. fra le due induttanze. Si può dire dunque che le regole semplici date per calcolare le induttanze in serie od in parallelo, valgono solo per circuiti fra

(1) Da Giuseppe Henry (Albany 1797 - Washington 1878).

i quali non esiste mutua induzione, od almeno quando essa è molto piccola, perchè i circuiti sono o abbastanza distanti, o disposti in modo da evitare che il campo magnetico di ciascuna induttanza influisca sulle altre. L' induttanza di un circuito è tanto più forte quanto più il circuito contiene delle spire e quanto più queste sono fitte ed ampie. Se si mette del ferro o del materiale magnetico (ghisa, acciaio) nelle spire, si aumentano gli effetti magnetici e quindi anche l' induttanza del circuito cresce.

Nel caso di un avvolgimento a nucleo di aria, e costituito da un solo strato cilindrico, l' induttanza si può esprimere con la seguente formula:

$$L = \frac{(\text{lunghezza del filo})^2}{1000 \times \text{lunghezza della bobina.}} = \frac{l^2}{1000\, l_1} \qquad (29)$$

Se le due lunghezze sono espresse in cm., la formula dà L in μH.

Un filo rettilineo, non avendo spire, ha relativamente poca induttanza: ad esempio un filo d'aereo di una stazione r. t. lungo 150 m., ha appena 300 microhenry di induttanza, mentre il rocchetto di un telefono, che è fatto di molte spire ravvicinate, e con nucleo di acciaio, può avere 0,60 henry, cioè 600.000 microhenry. Tuttavia l' induttanza di un filo rettilineo è maggiore che se il filo fosse chiuso a spira di forma qualsiasi.

61. - Induttanza nei circuiti. — L'opposizione alle variazioni della corrente, dovuta alla autoinduzione, è anche la causa della così detta *impedenza* o *resistenza apparente,* che la induttanza oppone al passaggio delle correnti variabili, e che si manifesta con una *diminuzione* nell'ampiezza della variazione della corrente stessa, come se nel circuito vi fosse una resistenza in più, oltre quella ohmica.

Nel caso della corrente alternata si può dire che l'induttanza, opponendosi alle variazioni della corrente, non dà modo a questa di assumere il valore che le competerebbe se tale induttanza non ci fosse; quindi l'ampiezza dalla corrente è minore.

Naturalmente tale effetto è rilevante quando le variazioni della corrente sono molto rapide, cioè quando è alta la frequenza, e quando è intenso il campo magnetico che deve variare, cioè quando è grande l' induttanza. L'induttanza non ha poi nessun effetto sulla corrente continua, perchè questa non presenta variazioni di intensità alle quali l' induttanza possa opporsi.

In altre parole, mentre l' intensità della corrente continua è esprimibile, in conseguenza della legge di Ohm (nr. 23), con la relazione $I = \frac{E}{R}$, tale espressione non è valida per la corrente alternata, se il circuito contiene induttanza. Si deve infatti in tal caso scrivere

$$I_{eff} = \frac{E_{eff}}{\sqrt{R^2 + 4\,\pi^2\, n^2\, L^2}} \qquad (30)$$

formula che esprime precisamente quanto sopra detto, cioè che l' intensità è minore, quanto più alta è la frequenza n e quanto più grande è l' induttanza L.

Il denominatore

$$\sqrt{R^2 + 4\,\pi^2\,n^2\,L^2} \qquad (31)$$

è della stessa natura di una resistenza, e chiamasi *impedenza;* si misura in ohm. Essa è maggiore della resistenza ohmica R e tanto maggiore quanto più sono alti L ed n (essendo il fattore $4\,\pi^2$ costante).

In molti casi la resistenza R del circuito è tanto piccola che diventa trascurabile di fronte al secondo termine $4\,\pi^2\,n^2\,L^2$; cosicchè la impedenza si riduce a $\sqrt{4\,\pi^2\,n^2\,L^2}$ e cioè a

$$2\,\pi\,n\,L. \qquad (32)$$

Questo termine, che è pure della stessa natura di una resistenza, si misura in ohm, quando L è in henry ed n è in periodi al secondo, e dicesi *reattanza magnetica* del circuito.

62. - Effetto di capacità e di induttanza nei circuiti a c. a. - Risonanza. — Da quanto sopra si rileva che l' induttanza si comporta in modo perfettamente opposto alla capacità (nr. 50). Infatti questa impedisce totalmente il passaggio delle correnti continue, mentre oppone una impedenza sempre minore alle correnti alternate, a misura che aumenta la frequenza o la capacità; l' induttanza invece non offre ostacolo al passaggio delle correnti continue, mentre si oppone a quelle alternate, e tanto più quanto più aumenta la frequenza e la induttanza.

Ora l'effetto di opposizione alle correnti alternate prodotto dalla induttanza si può compensare con l'effetto favorevole prodotto dalla capacità, cosicchè la diminuzione di corrente, che si ha nel circuito, resta dovuta solo alla differenza tra questi due effetti.

Tenendo presente quanto si disse al nr. 50 si ha infatti, nel caso in cui il circuito comprenda induttanza e capacità, che la intensità della corrente diventa:

$$I_{eff} = \frac{E_{eff}}{\sqrt{R^2 + \left(2\,\pi\,n\,L - \frac{1}{2\,\pi\,n\,C}\right)^2}} \qquad (33)$$

e poichè tanto l'effetto favorevole della capacità quanto quello contrario dell' induttanza crescono col crescere della frequenza della corrente, così, per ogni circuito contenente capacità e induttanza, esiste sempre una frequenza della corrente per la quale la differenza degli effetti è zero, e cioè la compensazione degli effetti della capacità e della induttanza è perfetta.

Ciò si ha quando $2\,\pi\,n\,L = \frac{1}{2\,\pi\,n\,C}$; e cioè quando

$$4\,\pi^2\,n^2\,L\,C = 1.$$

Da cui:

$$n = \sqrt{\frac{1}{4 \pi^2 L C}} = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L C}} \qquad (34)$$

Questa espressione fornisce la frequenza della c. a. (in periodi al secondo) per la quale si verifica l'eguaglianza delle due reattanze, nel caso in cui il circuito (fig. 57) contenga in serie la induttanza L (in henry) e la capacità C (in farad).

I valori $2 \pi n L$ e $\frac{1}{2 \pi n C}$, che sono rispettivamente, come si è già detto, la reattanza di induttanza o magnetica, e la reattanza di capacità, e che si misurano in ohm, si indicano con X_L e X_C; allora il denominatore della (34), 33

$$\sqrt{R^2 + \left(2 \pi n L - \frac{1}{2 \pi n C}\right)^2} \qquad (35)$$

si potrà scrivere

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}. \qquad (36)$$

Tale radicale si indica con Z e si chiama, come si è già detto, impedenza o resistenza apparente del circuito.

Nel caso prima considerato in cui si ha compensazione completa tra capacità e induttanza, la impedenza si riduce alla resistenza ohmica. La diminuzione di corrente è zero, e cioè la corrente assume il valore che le competerebbe se non esistessero nè la capacità nè la induttanza, ma solo la resistenza ohmica. Questo valore è quindi il massimo fra quelli che la corrente può assumere, quando siano fissi la d. d. p. e la resistenza del circuito. Quando variando la C o la L o la n si ottiene ciò, si dice che il circuito è in *risonanza* con la frequenza della corrente che lo percorre.

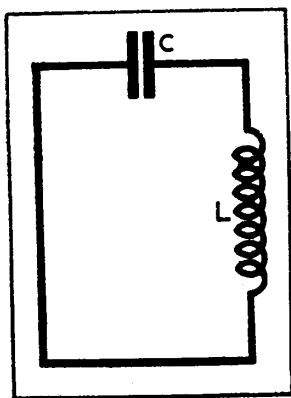



Fig. 57.

63. - Estra corrente di rottura. — Un fenomeno dovuto alla autoinduzione dei circuiti, cioè alla loro induttanza, è la così detta *estracorrente di rottura*, che si manifesta con una scintilla nel punto ove si interrompe bruscamente un circuito percorso da corrente. Essa è dovuta precisamente alla f. e. m. di autoinduzione che si crea nel conduttore in seguito alla rapida diminuzione della corrente e del campo magnetico da essa prodotto e che, per quanto già detto, tende a opporsi alla variazione della corrente, e cioè tende a mantenerla invariata. La scintilla è tanto più brillante ed intensa quanto maggiore è l' induttanza del circuito e quanto più brusca è l' interruzione, cioè più rapida la variazione della corrente; e infatti è molto brillante, quando il circuito contiene qualche bobina a molte spire e quando il circuito viene interrotto bruscamente. Non avviene se mancano bobine o se l' interruzione è lenta.

È questa una illustrazione delle leggi fondamentali che governano i fenomeni dell' induzione elettromagnetica. La prima dice che essi sono « *tanto più intensi quanto più grande è la variazione del campo magnetico e quanto più rapida è tale variazione* ». L'altra (legge di Lenz), come si è già visto al nr. 58, dice che in tali fenomeni si *generano delle f. e. m. che tendono a contrastare le variazioni di corrente che producono le f. e. m. stesse,* allo stesso modo come l' inerzia dei corpi pesanti si oppone alle variazioni del moto dei corpi stessi.

64. - VARIE FORME DI INDUTTANZE. — Nella pratica r. t. sono molto usate delle bobine che hanno il solo scopo di introdurre nei circuiti un certo valore L di

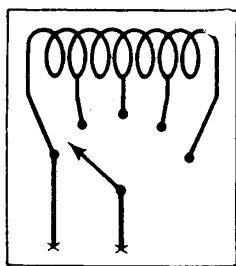



Fig. 58.

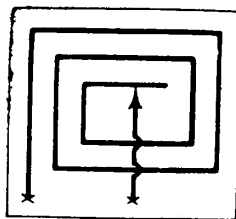



Fig. 59.

induttanza. Tali bobine si indicano quindi per lo più con la denominazione di induttanze. Le induttanze possono essere fisse oppure variabili; e queste ultime

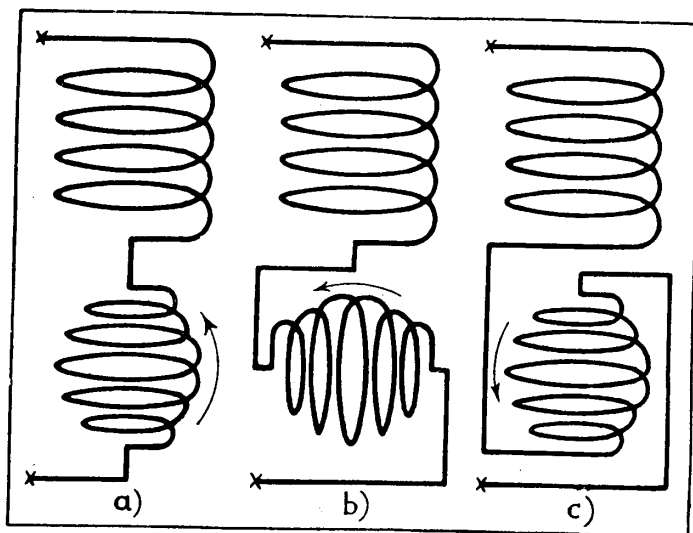



Fig. 60.

possono essere variabili a salti o con continuità, ed hanno forme e dimensioni differenti, a seconda se si tratta di bobine per apparecchi di trasmissione o per apparecchi di ricezione.

In trasmissione le induttanze variabili a salti consistono in avvolgimenti nei quali per ogni spira o per ogni determinato numero di spire è derivata una presa per lo più a spina (fig. 58). Nelle induttanze variabili con continuità l'avvolgimento è fatto con conduttore (o con lastrina) nudo, anzichè isolato, ed ha spesso la forma di una spirale piatta o quadra o circolare; lungo l'avvolgimento può spostarsi strisciando un contatto costituito da un cursore a forchetta (fig. 59). Per variare l'induttanza in questi casi è necessario togliere la tensione nel circuito trasmittente in cui essa è inserita.

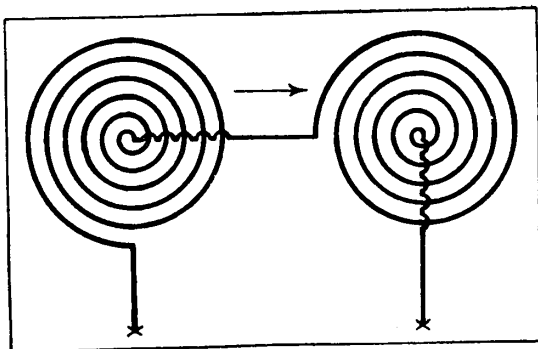



Fig. 61.

Un apparato che permette la variazione dell'induttanza con continuità è il *variometro*: esso permette la manovra anche col circuito in funzione. Il variometro consiste in due avvolgimenti posti in serie l'uno rispetto all'altro, e di cui uno è mobile rispetto all'altro fisso, in modo da poter disporre le proprie

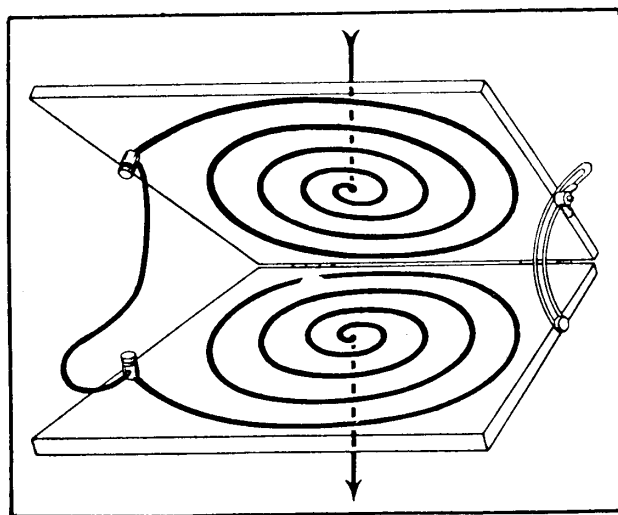



Fig. 62.

proprie spire parallele od ortogonali a quelle dell'altro. Se l'avvolgimento fisso ha induttanza L_1, quello mobile induttanza L_2, ed M è la massima mutua induzione ottenibile fra i due avvolgimenti, l'induttanza complessiva varia con continuità da $L' = L_1 + L_2 + 2\,M$ a $L'' = L_1 + L_2 - 2\,M$ passando pel valore $L_1 + L_2$.

Il valore massimo si ha quando i flussi delle due spirali sono concordanti ; quello minimo quando i flussi sono in opposizione ; il valore medio ($L_1 + L_2$) si ha quando le spirali sono ortogonali (cioè non accoppiate) (1). Il variometro ora accennato è quello a rotazione e le posizioni principali sono quelle indicate nella fig. 60 ; *a)* è con flussi concordanti ; *b)* con flussi normali ; *c)* con flussi opposti. Si può avere anche il variometro a scorrimento, oppure a libro: i due avvolgimenti sono a spirale piatta e quello mobile può scorrere o ruotare rispetto a quello fisso, affacciandosi ad esso più o meno (figg. 61 e 62).

Fig. 63.

Se al bottone od alla manetta che comanda l'avvolgimento mobile si collega un indice, questo potrà segnare su una scala graduata il valore dell'induttanza corrispondente ad ogni posizione dell'avvolgimento mobile.

Anche nel caso della ricezione l'induttanza variabile può essere a salti, oppure a cursore o a bottoni. Nel primo caso l'avvolgimento è a forma di spirale cilindrica su un'anima tubolare di legno o di materia isolante, con filo iso-

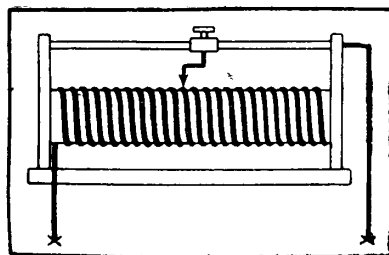
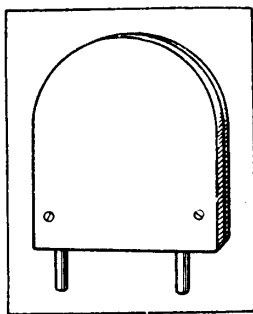



Fig. 64.

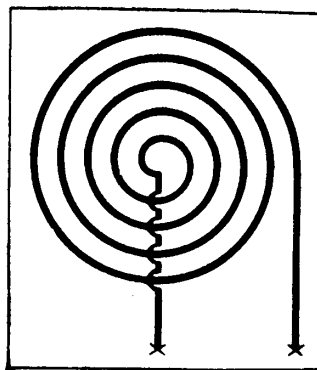



Fig. 65.

lato in seta o in smalto, spire a contatto; e il cursore, portato da uno stelo di guida, scorre secondo una generatrice, lungo la quale il conduttore è stato spogliato dell'isolamento (fig. 63). Questa induttanza variabile è di costruzione molto

(1) I flussi di due spirali sono concordanti od opposti, secondo il senso delle correnti che le percorrono. Rovesciando il senso della corrente in una delle spirali, i flussi, se erano opposti, diventano concordanti, e viceversa. Questa osservazione permette di verificare se esiste mutua induttanza fra due spirali. Basta unirle in serie in due modi diversi, e misurare l'induttanza nei due casi: se l'induttanza rimane invariata, ciò indica che non vi è mutua induzione; in caso contrario, la differenza delle induttanze dei due casi divisa per 4, dà il valore della mutua induttanza.

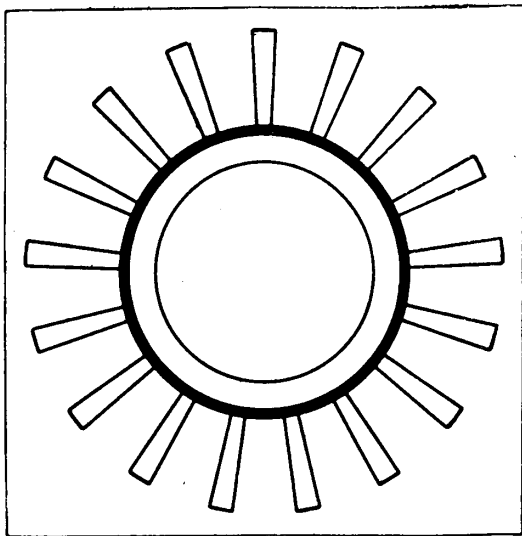
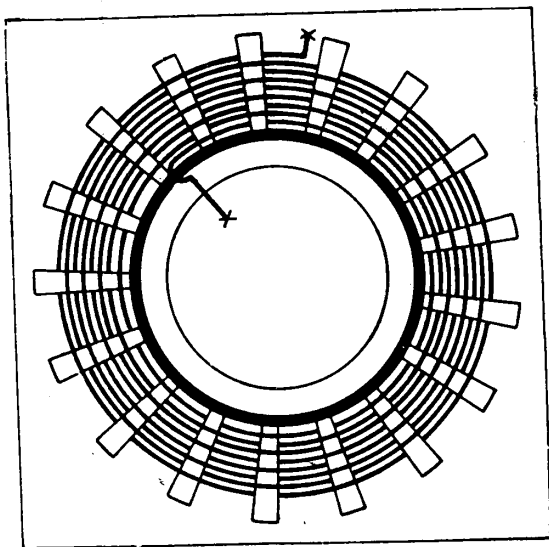
semplice, ma occupa troppo spazio per il movimento del cursore, e col tempo, per lo scorrere del contatto mobile, il rame del conduttore si appiattisce, riempiendo lo spazio fra spira e spira, causandone il corto circuito.

Migliore è l' induttanza a bottoni. Da ogni spira (oppure ogni dato numero di spire) si deriva un conduttore che fa capo ad un bolloncino passante, con testa a bottone. I vari bottoni sono disposti su un arco di cerchio, e su essi può fare contatto una leva che può girarsi a mezzo di manetta ((vedi fig. 58).

Fig. 66.

65. - Induttanze sostituibili - Bobine a nido d'ape e a fondo di paniere - Bobine toroidali. — Nella ricezione è oggi più comune l'impiego di induttanze sostituibili, mediante le quali si può cambiare rapidamente tutta l' induttanza di un circuito. Le induttanze sostituibili o bobine intercambiabili possono essere inserite nei circuiti in vari modi, di cui il più comune è quello a spina. La bobina è munita di una spina bipolare, alla quale fanno capo i due estremi dell' avvolgimento; sull'apparato è disposta una bocchetta bipolare (inserita nel circuito), di passo uguale a quello della spina, destinata a ricevere la spina stessa. La bobina può essere contenuta in una custodia di legno, o di ebanite o altro; ed allora assume l'aspetto della fig. 64. Nell'interno l'avvolgimento può essere a spirale cilindrica o a spirale piatta circolare (fig. 65), oppure a fondo di paniere (fig. 67).

Fig. 67.

Per costruire una bobina a fondo di paniere, sulla periferia di un disco si infiggono radialmente, a intervalli eguali, degli steli, in numero dispari: gli steli ed il disco saranno

di materiale isolante, se devono restare nell'induttanza costruita; possono essere di qualsiasi materiale anche metallico, se sono destinati ad essere tolti, servendo quindi solo per la costruzione. In quest'ultimo caso occorre che gli steli possano facilmente sfilarsi. La forma per la costruzione assume l'aspetto della fig. 66. Con filo di rame sottile isolato in seta si procede poi all'avvolgimento, intrecciando fra gli steli e cioè passando successivamente sopra uno stelo, sotto al successivo, sopra al terzo e così via. Si continua ad intrecciare per quanto lo permette la lunghezza degli steli (fig. 67). Finito l'avvolgimento si può togliere la forma ed assicurare la rigidità mediante legature di spago ed una verniciatura di gomma lacca.

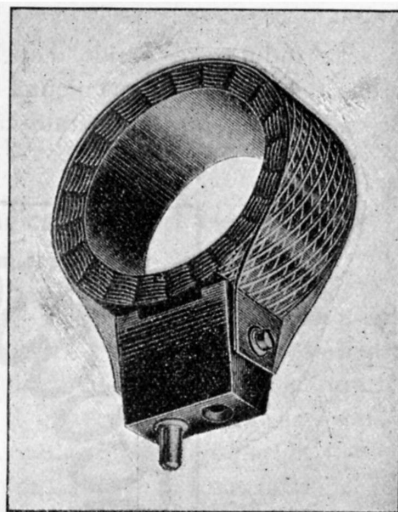



Fig. 68.

Le bobine del tipo a nido d'ape, sono in genere rivestite sulla superficie esterna, per protezione (fig. 68). Per costruire una bobina a nido d'ape si infiggono radialmente a intervalli eguali degli steli sui due orli di un piccolo cilindro rigido, Gli steli devono essere in numero dispari, ad es. 19. e le due serie non devono corrispondersi, ma invece gli steli di una serie devono trovarsi disposti negli intervalli di quelli dell'altra serie (fig. 69). Gli steli si numerano e stabilito il passo, che deve essere un numero primo col numero degli steli (ad es. 5), si inizia l'avvolgimento ad esempio dello stelo 1 inferiore; si va a quello 6 superiore; all'11 inferiore; al 16 superiore e

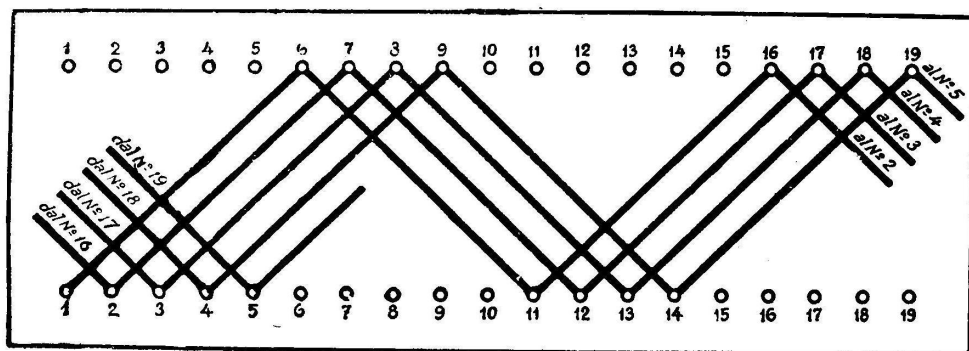



Fig. 69.

così via. Essendo il passo un numero primo col numero degli steli, dopo uno o più giri risulta completo uno strato, toccando una volta sola tutti gli steli. L'avvolgimento si può continuare sovrapponendo diversi strati per ottenere il valore dell'induttanza che si desidera.

Le bobine toroidali sono bobine chiuse su se stesse, a formare un anello o toro. Si costruiscono avvolgendo il filo su un anello toroidale di materiale

isolante, ma si possono avere a nucleo d'aria (fig. 70). Queste bobine concentrano il loro campo magnetico completamente nell' interno dell'avvolgimento, e non danno luogo a flusso esterno; sono quindi molto adatte per evitare accoppiamenti con altre bobine.

Le induttanze a nido d'ape ed a fondo di paniere hanno piccola capacità propria, ciò che è conveniente, ad esempio, quando debbano servire per circuiti di onde corte. In una spirale cilindrica la capacità propria è dovuta alla pre-

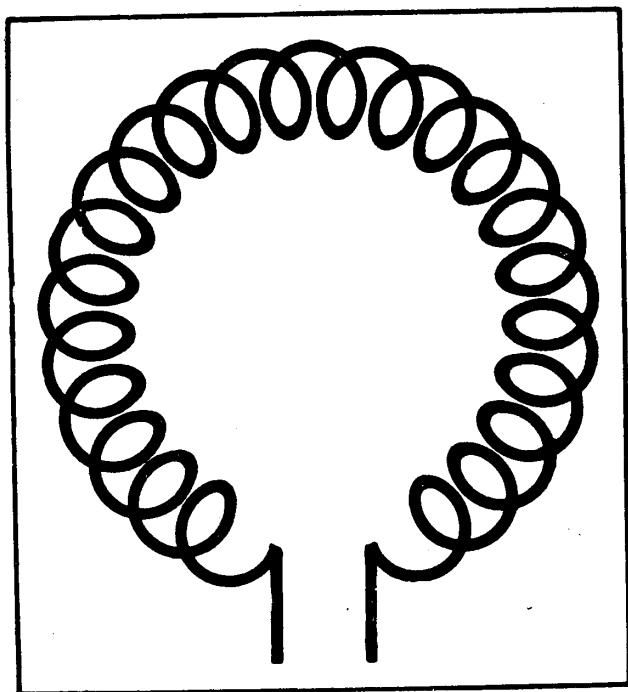



Fig. 70.

senza, per tutto lo sviluppo di ciascuna spira, di un'altra spira molto vicina, separata da un isolante (il rivestimento in seta). Le due spire vicine costituiscono come le due armature di un piccolo condensatore con dielettrico molto sottile e perciò di capacità relativamente grande. Nella bobina a fondo di paniere e in quella a nido d'ape la contiguità dei fili non si ha per tutto lo sviluppo delle spire, ma solo agli incroci che avvengono negli intervalli fra gli steli, e quindi la capacità propria risulta ridotta.

Si è però osservato che, mantenendo un leggero intervallo tra le spire di un comune avvolgimento a spirale cilindrica, si ottiene ugualmente una piccola capacità, con meno filo e quindi con minore resistenza ohmica, e con una costruzione più semplice.

Capitolo IV.

Generatori elettrici ad energia meccanica - Motori elettrici.

66. - Generalità. — Al nr. 15 parlando dei modi di produzione delle d. d. p. si è detto che si chiamano generatori elettrici gli apparecchi nei quali si ottengono delle d. d. p. per trasformazione di energia di un'altra natura. Se l'energia di cui si dispone è quella meccanica, il generatore assume la forma di una macchina, che si chiamerà dinamo-elettrica, nella quale dunque la f. e. m. si ottiene per trasformazione di energia meccanica. Tali macchine possono raggrupparsi in due tipi: le *dinamo* e gli *alternatori*. Nella pratica della vita civile moderna sono questi i generatori più impiegati, utilizzandosi in essi le forze motrici idrauliche oppure quelle termiche per produrre la grande quantità di energia elettrica che serve per i motori delle officine, per i trasporti e per l'illuminazione. Le leggi che regolano la trasformazione dell'energia meccanica in energia elettrica sono quelle dell'induzione elettromagnetica, già considerate ai nr. 56, 58 e 63, e che si possono enunciare così:

a) « *Quando un circuito si trova in un campo magnetico, ed in un modo qualunque viene a variare il flusso magnetico che lo attraversa, durante e solo durante la variazione del flusso, si manifesta nel circuito una f. e. m., che è appunto una f. e. m. di induzione e. m.* »;

b) « *La f. e. m. indotta è tanto più intensa quanto più grande è la variazione del campo magnetico, e quanto più rapida è tale variazione* »;

c) « *Il senso della f. e. m. indotta è quello che produce nel circuito un flusso magnetico che si oppone alla variazione del flusso che genera la f. e. m. stessa* » (legge di Lenz) (1).

Così, se la f. e. m. è dovuta ad un flusso *crescente*, essa tenderà a produrre un flusso *opposto* al flusso generatore; se invece il flusso generatore fosse *decrescente*, la f. e. m. tenderebbe a produrre un flusso *concordante* con esso.

Le cause che possono far variare il flusso magnetico, per quanto in apparenza molteplici, possono nella sostanza ridursi a due: si può supporre un movimento relativo del campo e del circuito, in modo che il flusso abbracciato nelle

---

(1) Enrico Federico Lenz (Dorpat 12 febb. 1804 - Roma 10 febb. 1863).

varie posizioni sia diverso; ovvero si può supporre fermo il circuito nel campo, e che quest'ultimo aumenti e diminuisca d' intensità.

Nel caso dei generatori ad energia meccanica la corrente elettrica si produce per effetto dell' induzione dovuta al movimento relativo di un sistema di conduttori e di un campo magnetico. O il sistema di conduttori si muove in un campo magnetico fisso, o si tien fermo il sistema di conduttori e si fa muovere il campo magnetico.

In ogni caso vi è un sistema *induttore*, destinato alla produzione del campo magnetico, ed un sistema *indotto*, nel quale si sviluppa la f. e. m. indotta e quindi la corrente, se il circuito indotto è chiuso.

La f. e. m. che si produce è *alternata*; però la corrente che si raccoglie e che viene utilizzata nel circuito esterno al generatore può essere raddrizzata, in modo da aver sempre la stessa direzione. In tal caso il generatore prende il nome di *dinamo a corrente continua* o semplicemente *dinamo*. Quando invece la macchina è disposta in modo da fornire al circuito esterno una corrente alternata, si dice che la *dinamo* è a *corrente alternata*, o più brevemente che è un *alternatore*.

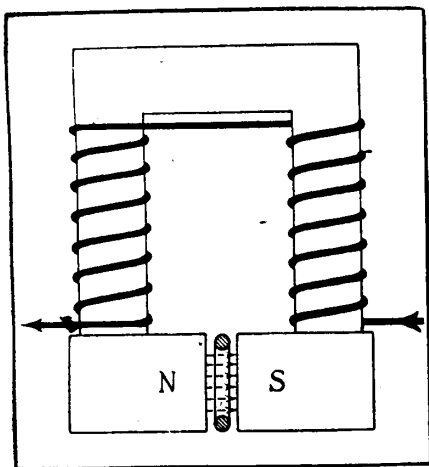



Fig. 71.

67. - Descrizione di un generatore ad energia meccanica. — Il caso più semplice è quello del generatore *bipolare*, nel quale il campo magnetico presenta soltanto due poli. L' induttore più semplice è costituito da un anello aperto di materiale magnetico (per modo che i poli si trovino affacciati), il quale può avere forme diverse (ad esempio a ferro di cavallo), purchè rimanga libero fra i due poli un certo spazio, nel quale si possa muovere l' indotto. Detto anello induttore può essere un magnete permanente, ed in tal caso la macchina si dice magneto-elettrica o più semplicemente magnete. Sono di tale tipo i magneti di accensione dei motori a scoppio, ed i magneti di chiamata nei comuni apparecchi telefonici. D' ordinario però l' induttore è una elettrocalamita, e cioè è costituito da un nucleo a forma di anello aperto, su cui è avvolta una spirale alimentata con corrente continua. I materiali più adatti per formare l'anello sono il ferro dolce e l'acciaio dolce speciale.

Il campo magnetico, qualunque sia il tipo dell' induttore, è costituito da un flusso magnetico che va dal polo nord al polo sud, nello spazio compreso tra le faccie polari, spazio che prende il nome di *interferro o traferro* (fig. 71).

L' indotto più semplice è una spira di filo di rame, sospesa nell' interferro: facendola oscillare, in modo che entri nel campo e ne esca alternativamente

(con che si tagliano continuamente le linee di forza) si produce in essa una f. e. m. alternata (fig. 72).

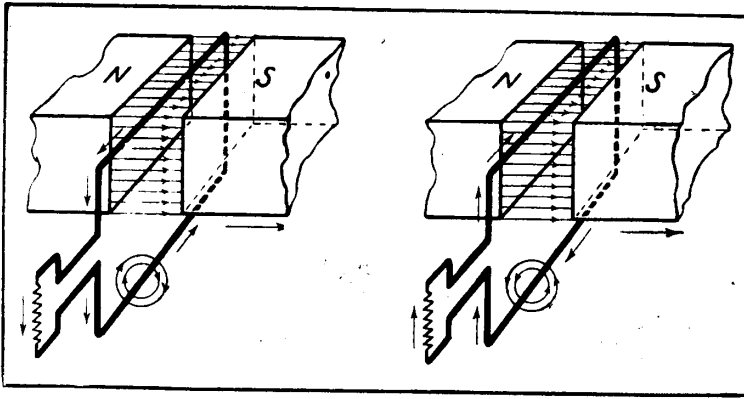



Fig. 72.

Quando la spira entra nel campo, il flusso che l'attraversa cresce da zero al massimo, e si ha una f. e. m. tale che la corrente nella spira, supposto il circuito chiuso, produce un campo opposto al campo induttore. Quando la spira

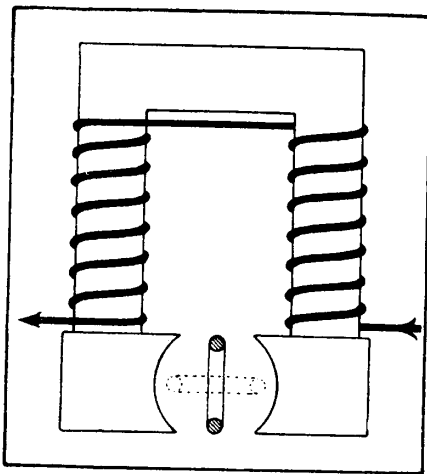



Fig. 73.

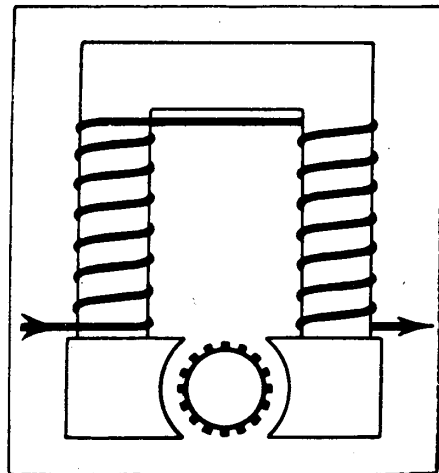



Fig. 74.

incomincia a uscire dall'altra parte, continuando l'oscillazione, il flusso diminuisce e la f. e. m. si inverte, perchè tende a produrre un campo concordante.

Ma il moto oscillatorio non è il più opportuno nè il più pratico, ed è più facile costruire la macchina e farla funzionare, se si può dare alla spira un movimento rotatorio. Perciò si allarga lo spazio fra le due espansioni polari del-

l' induttore (fig. 73), in modo che la spira dell' indotto possa ruotarvi entro, intorno ad un asse che, nel caso della figura, è normale al foglio, ed è normale alla direzione del campo magnetico. Nella posizione verticale la spira è attraversata dal massimo flusso; dopo una rotazione di 90° (spira orizzontale), il flusso che l'attraversa è nullo, poi ritorna massimo, e così via, man mano che la rotazione continua. La variazione del flusso dà luogo alla f. e. m. d'induzione, che si inverte ad ogni mezzo giro completo della spira, poichè, essendo il flusso diretto sempre dal polo nord a quello sud, ogni volta che la spira si capovolge il flusso entra nella spira dalla faccia opposta della precedente.

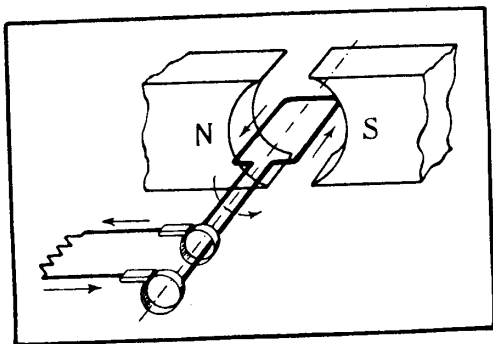



Fig. 75.

Però allargando l' interferro per permettere la rotazione della spira, il flusso magnetico, a parità di forza magnetizzante, viene ad essere indebolito, causa la piccolissima permeabilità dell'aria. Si può ovviare a questo inconveniente riempendo lo spazio centrale con una massa di ferro dolce, che ha grande permeabilità magnetica, la quale massa occupi il vano interno della spira, formandovi il *nucleo* e riducendo in tal modo l' interferro ad una stretta fessura, larga quanto basta per il passaggio della spira. Invece di una spira se ne possono avvolgere diverse, disposte in vario modo, e fra loro convenientemente collegate; e tutte si possono far ruotare insieme con il nucleo di ferro dolce.

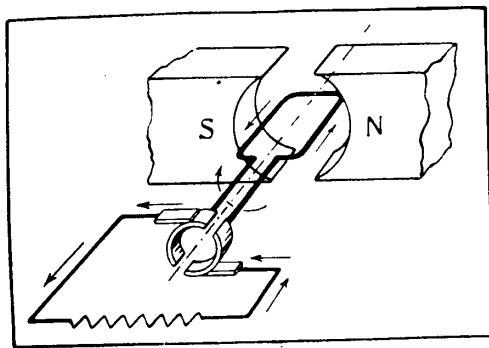



Fig. 76.

Ad evitare che anche nel nucleo si generino per induzione delle correnti che sarebbero nocive, poichè assorbirebbero inutilmente una certa quantità di energia (correnti di Foucault (1) o correnti parassite), il nucleo non si fa massiccio, bensì con lamine sottili, convenientemente sovrapposte e separate l'una dall'altra o con sottili fogli di carta o con uno strato di vernice isolante.

In definitiva il generatore più semplice, bipolare, assume la disposizione rappresentata schematicamente dalla fig. 74.

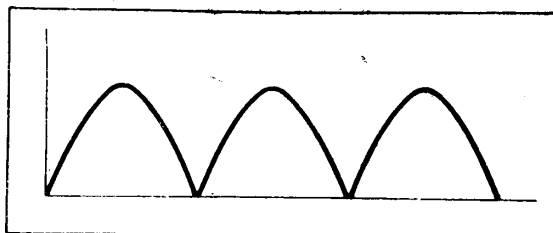
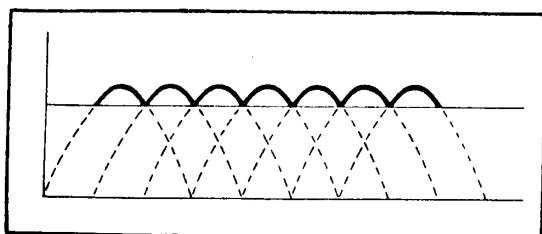
---

(1) Giov. Bernardo Leone Foucault (Parigi 18 settembre 1819 - Parigi 11 febbraio 1868).

Si tratta ora di raccogliere, ai due capi della spira o del sistema di spire la corrente indotta; ed a tale scopo è necessario mantenere le estremità del circuito mobile continuamente collegate a quelle del circuito esterno fisso, senza che venga impedita la rotazione dell' indotto.

Fig. 77.

Si raggiunge lo scopo per mezzo di un dispositivo speciale detto *collettore*. Il collettore (fig. 75) può essere costituito da due anelli di rame montati sullo stesso albero dell' indotto, ai cui due capi sono collegati. Sui due anelli appoggiano a dolce sfregamento due conduttori a larga superficie, di rame o di carbone, detti *spazzole*, attaccati ciascuno ai capi del circuito esterno fisso, nel quale si otterrà quindi la corrente che, per il caso considerato, sarà alternata.

Fig. 78.

68. - DINAMO. — Se invece il collettore ha un solo anello (fig. 76), costituito però da due semi-anelli di rame montati sullo stesso nucleo, isolati fra di loro, collegati ciascuno ad un capo del circuito mobile e sui quali appoggiano le spazzole, allora, essendo convenientemente calettate le spazzole, si può ottenere che quando la corrente sta per invertirsi, ciascuna spazzola abbandoni il contatto di un semi-anello per cominciare a toccare l'altro. Così la corrente uscirà sempre per la stessa spazzola e rientrerà sempre per l'altra. Il

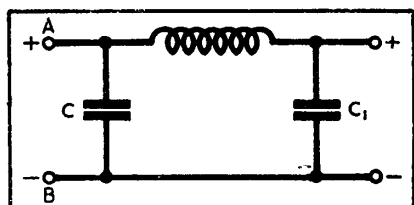



Fig. 79.

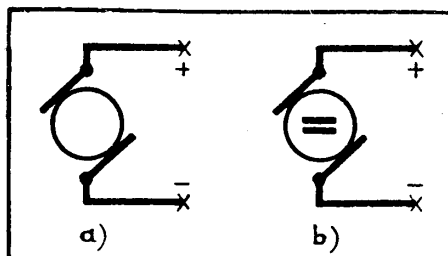



Fig. 80.

generatore fornirà così una corrente diretta sempre nello stesso senso, che ha cioè direzione costante, benchè non sia costante di intensità (fig. 77). Una tale corrente si chiama pulsante. Per migliorare l'uniformità della corrente, si dispon-

gono nel nucleo diverse spire indipendenti l'una dall'altra e spostate l'una rispetto all'altra di un certo angolo; ognuna di esse fa capo con le sue estremità a due piccoli settori conduttori, diametralmente opposti. Tutte le diverse coppie di settori, fissati su un unico supporto e opportunamente isolati fra di loro, costituiscono il collettore unico su cui appoggiano le spazzole. Allora la corrente assume la forma della curva della fig. 78, e cioè le pulsazioni sono meno sentite, l'intensità è quasi costante, e la corrente ha effettivamente i caratteri della c. c. A rendere ancora meno sentita la pulsazione della tensione, per quei casi in cui ciò interessa, si ricorre al circuito di spianamento di cui la fig. 79 rappresenta uno schema. I due punti A e B, che si collegano alle spazzole della dinamo, portano in derivazione due condensatori C e C_1 di grande capacità; sul ramo A è in serie un avvolgimento con nucleo di ferro. I serrafili di uscita si collegheranno al circuito di utilizzazione. I condensatori così disposti in parallelo e l'induttanza disposta in serie attenuano le pulsazioni della corrente, per modo che tra i serrafili essa risulta quasi costante.

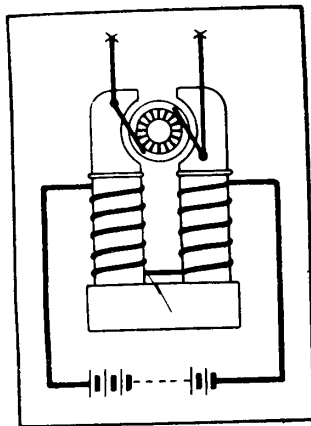



Fig. 81.

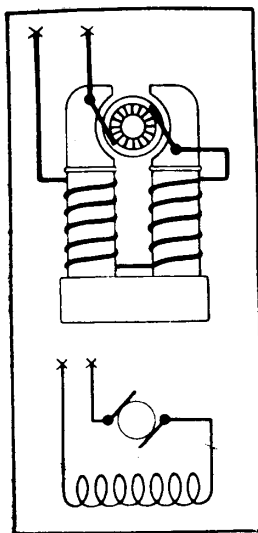



Fig. 82.

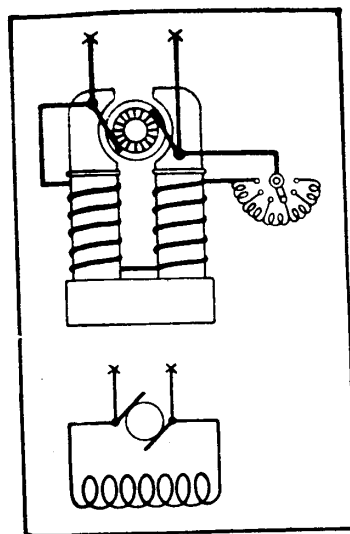



Fig. 83.

Il segno convenzionale per la rappresentazione di una dinamo è quello della fig. 80 *a*), oppure quello 80 *b*).

69. - Produzione del campo magnetico nelle dinamo. — Si è già detto che l' induttore può essere costituito da un magnete permanente o da una elettrocalamita. Fatta però eccezione, come già accennato, per le piccole macchine chiamate magneto-elettriche (o semplicemente magneti), d'uso speciale (per es.: magnete per la chiamata in un telefono, magnete per l'accensione di motori a scoppio), gli induttori sono costituiti in generale da elettrocalamite, con le quali è possibile ottenere campi magnetici intensi e facilmente regolabili.

Fig. 84.

La corrente continua per eccitare l'elettrocalamita può essere fornita da una sorgente ausiliaria di elettricità, come, per es.: da una batteria di pile o di accumulatori; si ha in tal caso la *dinamo ad eccitazione indipendente* (fig. 81). Però la corrente d'eccitazione è più spesso fornita dalla stessa dinamo, la quale si chiama allora *auto-eccitatrice*.

Utilizzando il magnetismo residuo, che di solito rimane nell' induttore, è possibile generare nell' indotto una piccola corrente, che, fatta circolare opportunamente nel circuito

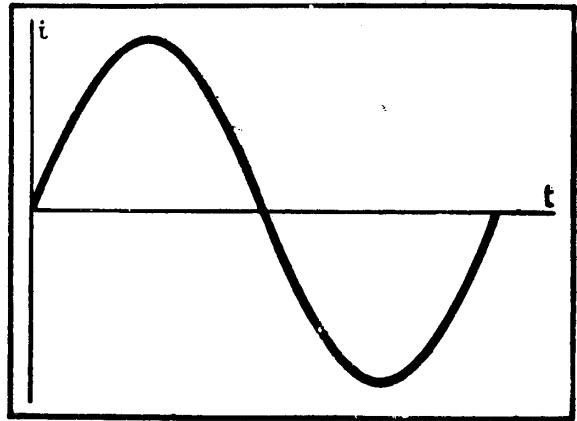
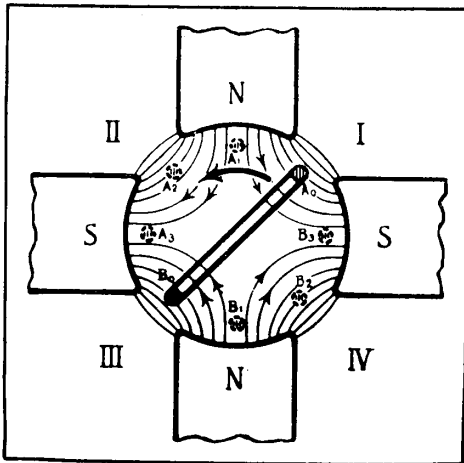



Fig. 85.

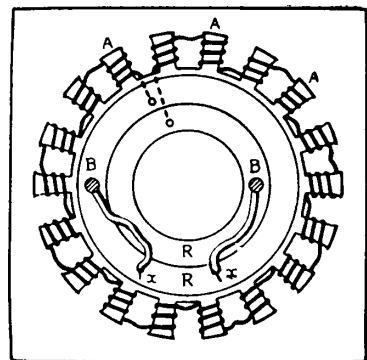



Fig. 86.

dell' induttore, aumenta l' intensità del campo, il quale a sua volta fa aumentare la corrente, e quindi il campo, e così via, finchè raggiungendo il ferro la sua massima magnetizzazione (saturazione), la corrente raggiunge il valore definitivo, che rimane costante.

Ponendo il circuito esterno di utilizzazione in serie oppure in derivazione sull'avvolgimento dell'elettrocalamita, si hanno i due modi più comuni di eccitazione delle dinamo, che sono detti appunto *eccitazione in serie* (fig. 82) ed *eccitazione in derivazione* (fig. 83).

Con la prima disposizione, si fa circolare nell'elettrocalamita tutta la corrente fornita dalla dinamo: l'avvolgimento dell' induttore è allora di poche spire di filo grosso, per modo che solo una piccola parte della tensione fornita venga assorbita dall'elettrocalamita, e la maggior parte rimanga disponibile per il circuito utilizzatore. Con la seconda disposizione invece solo una piccola parte della corrente prodotta, derivata dalle spazzole, viene mandata nell'avvolgimento del campo, il quale è costituito per tale scopo di molte spire

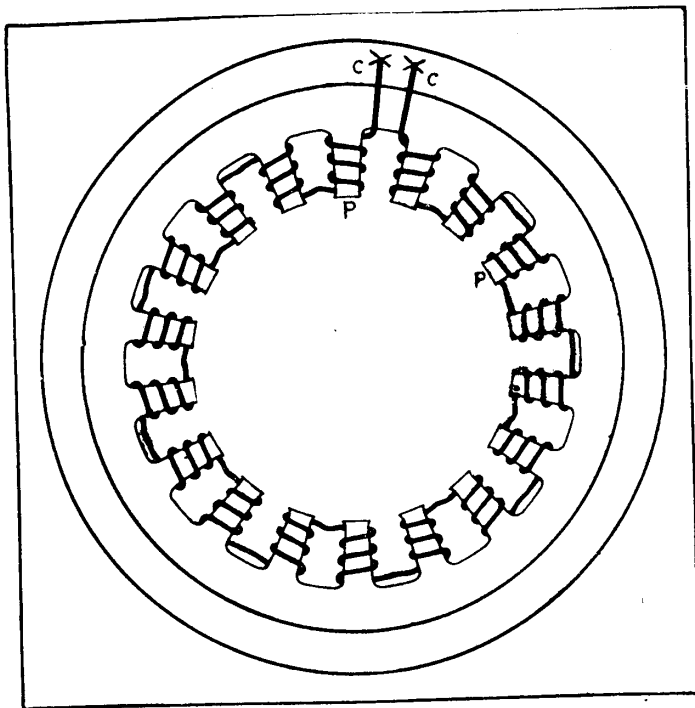



Fig. 87.

di filo sottile, in modo da presentare una grande resistenza, e può esser provvisto anche di una resistenza esterna regolabile (reostato del campo); l'altra parte della corrente (la maggiore) circola nel circuito esterno.

70. - INDUTTORE ED INDOTTO NEGLI ALTERNATORI. — Si è considerato finora che l' induttore avesse due soli poli; nel qual caso si ha nell' indotto una inversione di corrente ad ogni mezzo giro. Se si tratta di un alternatore, avente cioè il collettore a due anelli distinti, si avrà un periodo della corrente, e cioè il fenomeno rappresentato alla fig. 84, per ogni giro completo dell' indotto, e la frequenza sarà uguale al numero dei giri fatti in un secondo.

Questo numero di giri non può nella pratica essere molto grande, per non sottoporre l' indotto a forze centrifughe molto elevate, che potrebbero cimentare

troppo le fasciature; mentre d'altra parte, per le diverse applicazioni, una frequenza eccessivamente bassa potrebbe dar luogo ad inconvenienti (per es. : nell'illuminazione a c. a., un numero troppo limitato di inversioni della corrente al secondo si renderebbe sensibile con delle oscillazioni di luce).

Si possono ottenere frequenze elevate senza aumentare soverchiamente il numero dei giri, disponendo intorno all' indotto parecchie coppie di poli induttori, cosicchè ad ogni giro completo del primo, ogni sua spira subisce tante alternative d' induzione quante sono le coppie dei poli.

Nella fig. 85 è rappresentato ad esempio un generatore a 4 poli. Le linee ad arco sono le linee di forza dei campi; i cerchietti A_0-B_0, A_1-B_1, ecc. sono le sezioni del filo della spira disposta normalmente al foglio, e ruotante secondo la freccia. Nella prima posizione A_0-B_0 della spira, il flusso I entra dalla faccia 1 della spira e quello III entra dalla faccia 2. Nella posizione A_1-B_1 nessun flusso entra nella spira. Nella posizione A_2-B_2 il flusso II entra per la faccia 2, e il flusso IV per la faccia 1. Nella posizione A_3-B_3 non entra nessun flusso nella spira. Per modo che nella rotazione di un mezzo giro si è passato: dal flusso massimo in un senso della spira (posizione A_0-B_0), al flusso nullo (A_1-B_1), al flusso massimo in senso opposto (A_2-B_2) ed al flusso nullo (A_3-B_3). Nell'altro mezzo giro le cose si ripetono identicamente, e cioè per ogni mezzo giro si ha la stessa successione dei fenomeni che si avevano in un giro completo nel caso dell' induttore a due poli. Il nuovo generatore, avendo 4 poli, dà quindi una frequenza doppia. Questa cioè varia nel rapporto del numero delle coppie di poli. Se quindi n è il numero dei poli, $p = n/2$ è quello delle coppie, e se N è il numero dei giri al minuto primo, e quindi N/60 è quello dei giri al secondo, dato che la frequenza è espressa in periodi al secondo, si avrà:

$$f = \frac{p \cdot N}{60} \qquad (37)$$

Variando p e N nei limiti praticamente possibili si possono generare correnti alternate sia a frequenza industriale che ad audio frequenza, ma più difficilmente a radiofrequenza. Per queste ultime è necessario ricorrere ad accorgimenti speciali, di cui si vedrà più avanti.

Nei moderni alternatori la parte girante è l'induttore, e l'indotto è fisso. L'induttore è allora costituito da un volante di ferro che porta fissate a ugual distanza una serie di elettrocalamite, i cui avvolgimenti vengono percorsi da una corrente continua che giunge da due spazzole appoggianti su due anelli fissi all'asse girante. I poli sono avvolti alternativamente in senso contrario, in modo da produrre alternativamente poli nord e sud, e quindi un campo induttore multiforme (fig. 86). L' indotto è formato con un grande numero di conduttori, distribuiti uniformemente ed immersi in scanalature praticate nell'anello fisso che avvolge l' induttore.

All'eccitazione del campo si può provvedere costituendo ogni polo con una bobina eccitatrice (fig. 86 induttore rotante e fig. 87 induttore fisso); ma si può anche avere un'unica bobina che serve all'eccitazione di tutti i poli, con un tipo di induttore girante, come quello rappresentato nella fig. 88. La bobina avvolge tutta la carcassa dell' induttore, determinando un polo su una faccia e l'altro sulla faccia opposta. Su ciascuna delle

facce sono ricavate alternativamente delle sporgenze in ferro che vengono poi ripiegate indietro sulla periferia, di guisa che sulla circonferenza dell' induttore si hanno alternativamente poli sud e poli nord.

Per l' eccitazione del campo è necessario disporre di corrente continua, la quale viene in genere fornita da una piccola dinamo autoeccitatrice, montata per solito sul prolungamento dell'albero dell'alternatore stesso. La corrente di eccitazione viene regolata a mezzo di un reostato (resistenza variabile), e viene immessa nell' induttore (se è girante) collegando le spazzole della dinamo eccitatrice con altre due spazzole che poggiano su due anelli interi, isolati l' uno dall' altro, montati sull' albero dell' induttore e congiunti ciascuno ai capi dell'avvolgimento (fig. 89).

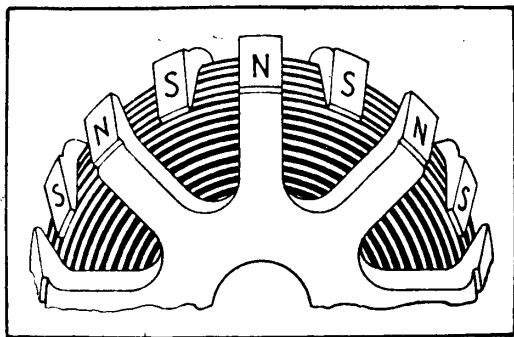



Fig. 88.

Il segno convenzionale per la rappresentazione di un alternatore è quello della fig. 90 ; talvolta si scrive vicino al segno il valore della frequenza della corrente, e cioè il numero dei periodi al secondo.

71. - Oscillazioni armoniche. — Le correnti alternate ed in genere le correnti periodiche quali sono prodotte dagli apparati generatori (alternatori, vibratori, ecc.) difficilmente sono perfettamente sinusoidali, cioè difficilmente hanno esattamente la forma della fig. 84. Più spesso ne differiscono in varia misura e talvolta assumono delle forme che molto si discostano dalla forma sinusoidale, come nella fig. 91.

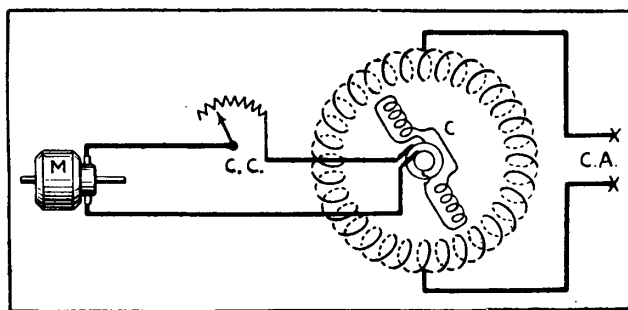
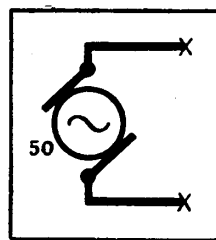



Fig. 89.

Fig. 90.

Ora una legge importante della fisica (legge di Fourier) dice che tutte le forme periodiche non sinusoidali sono in tutto equivalenti alla somma di un complesso di forme esattamente sinusoidali, aventi frequenza crescente secondo la progressione dei numeri naturali. Se f è la frequenza della forma periodica non sinusoidale, tale forma si può ritenere equivalente alla somma di un complesso di forme esattamente sinusoidali, aventi

frequenza f, 2f, 3f, 4f... ecc. L'ampiezza di queste forme componenti varia caso per caso, ed in generale diminuisce con il crescere della frequenza della componente.

La frequenza f della forma periodica dicesi *fondamentale*, le altre diconsi *armoniche* e cioè 2ª armonica, 3ª armonica...

Naturalmente può avvenire che manchi qualche armonica; di solito poi le armoniche molto elevate sono trascurabili.

La presenza delle armoniche si rileva nelle oscillazioni di qualsiasi specie: così, nei suoni emessi dagli strumenti musicali le armoniche sono precisamente quelle che danno il *timbro* al suono, e che fanno distinguere tra loro le note di uguale tonalità (perchè aventi la stessa fondamentale) emesse da diversi strumenti musicali. Nella radiotecnica le armoniche, quando accompagnano le emissioni radiotelegrafiche, sono spesso nocive, perchè sottraggono energia all'onda fondamentale, e perchè provocano dei disturbi su frequenze diverse dalla fondamentale. In tali casi si cerca perciò di eliminarle. In altri casi le armoniche si producono appositamente, per ottenere delle frequenze più elevate di quelle consentite dai mezzi di produzione di cui si dispone.

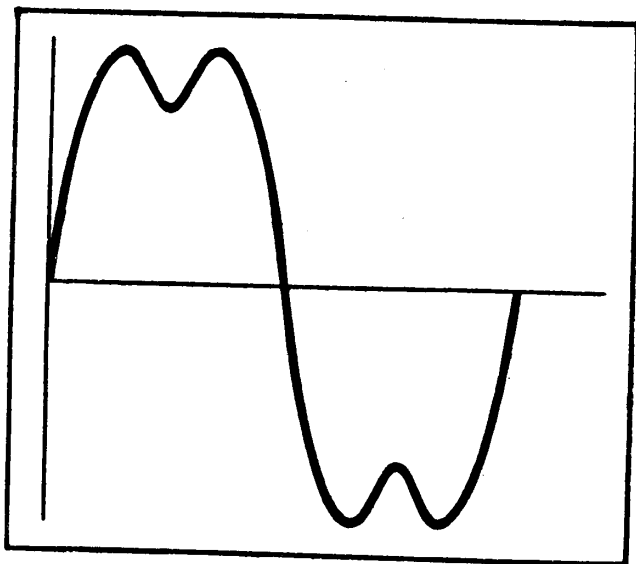



Fig. 91.

Dalla legge di Fourier risulta che le armoniche sono sempre di frequenza esattamente multipla della fondamentale: il loro periodo (e la loro lunghezza d'onda, che come si vedrà in seguito, è legata alla frequenza dalla relazione $\lambda_m = \frac{300.000.000}{f}$) è perciò sempre esattamente un sottomultiplo del periodo (e della lunghezza d'onda) fondamentale. Così una emissione di frequenza 100.000 periodi al secondo (onda di m. 3000) potrà essere accompagnata da armoniche di 200.000, 300.000, 400.000 ecc. periodi al secondo (ovvero da onde di $1500 = \frac{3000}{2}$; $1000 = \frac{3000}{3}$; $750 = \frac{3000}{4}$ ecc. metri), ma non sarà mai accompagnata da emissioni di 50.000 o di 150.000 periodi al secondo, perchè 50.000 non è un multiplo di 100.000, e perchè 150.000 non è un multiplo esatto di 100.000.

Le figure 92 e 93 mostrano alcune forme non sinusoidali, con le equivalenti componenti forme sinusoidali.

Si può verificare che se in ciascun punto si sommano le ordinate delle componenti (sottraendo quelle negative), si ottiene la forma data, naturalmente tanto più esattamente quanto più grande è il numero di armoniche che si considerano.

Nelle figure, A è l'ampiezza e T è il periodo della forma periodica; A_1 è la fondamentale; e A_2, A_3, A_4, A_5, sono le armoniche 2ª, 3ª, 4ª, 5ª.

La fig. 92 rappresenta una forma simmetrica e contiene solo armoniche dispari (3ª, 5ª); la fig. 93 è dissimmetrica e contiene anche le pari (2ª, 4ª).

È importante osservare che se si alimenta un circuito con una f. e. m. non sinusoidale, e si accorda il circuito su un'armonica della frequenza fondamentale di tale f. e. m.,

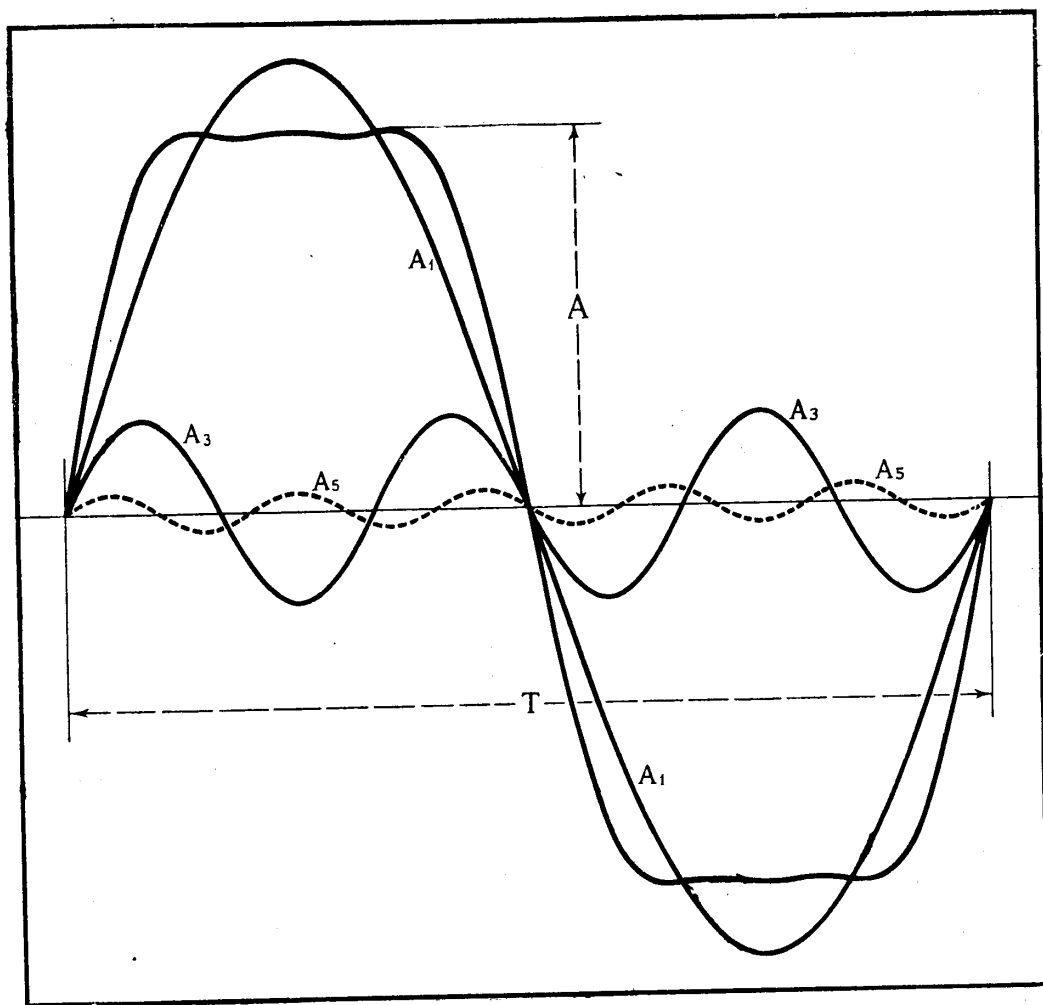



Fig. 92.

si ottiene in quel circuito una corrente avente la frequenza dell'armonica. L'ampiezza della corrente sarà tanto maggiore quanto più pronunziata è l'armonica nella f. e. m. agente.

Se il circuito è molto sintonico (di tale espressione si darà la spiegazione più avanti) e l'armonica è molto pronunziata, può avvenire che la corrente di frequenza armonica sia molto più intensa della corrente di frequenza fondamentale, nonchè delle correnti corrispondenti alle altre armoniche. In tal caso l'armonica di cui si tratta assorbe

la maggior parte dell' energia disponibile. Questo artifizio, detto di *selezione* o di *esaltazione delle armoniche* o di *moltiplicazione della frequenza,* viene impiegato in molte applicazioni radiotecniche, ad es. per la taratura degli ondametri, e per la produzione di alte frequenze nei trasmettitori radiotelegrafici ad alternatore.

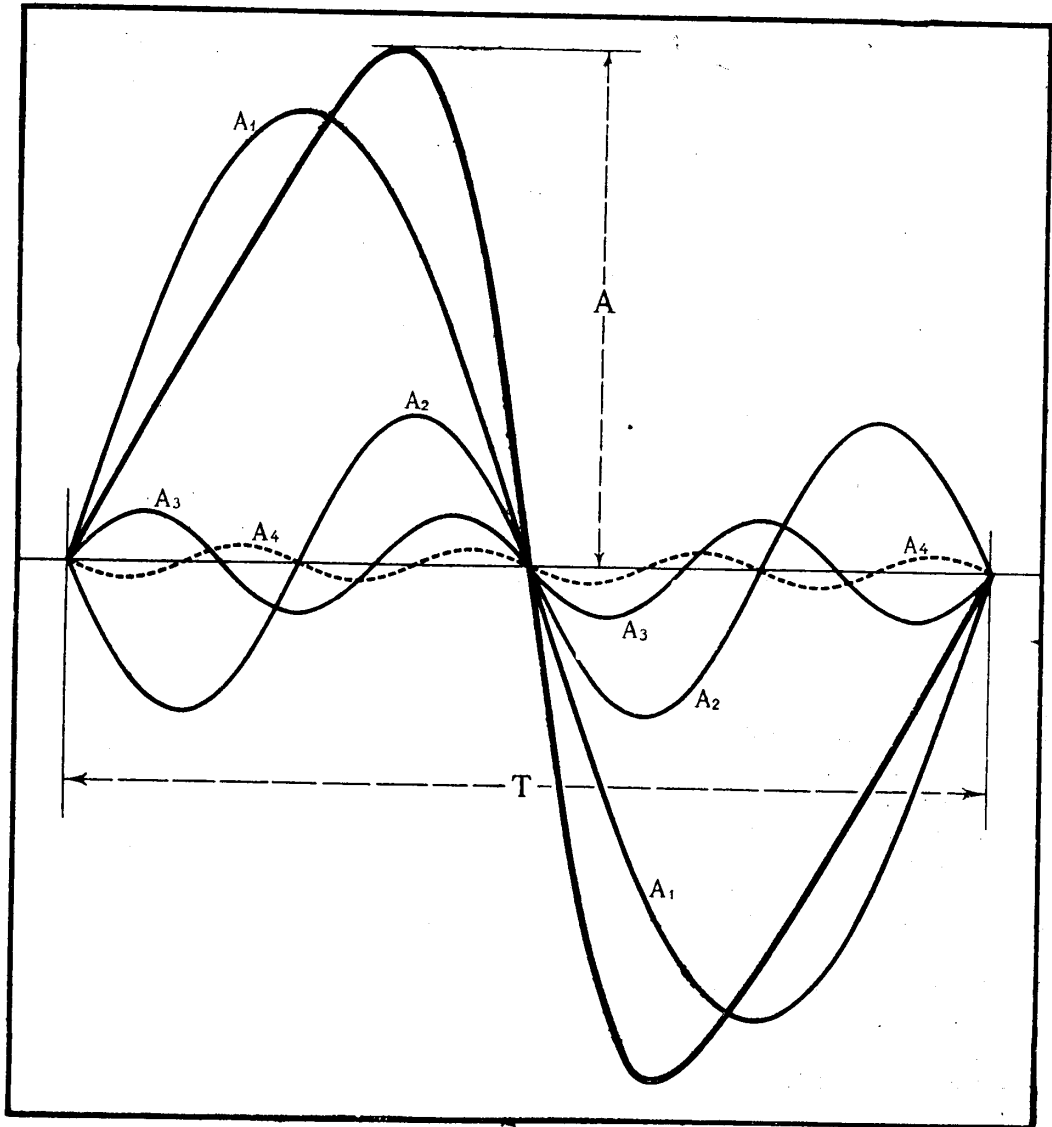



Fig. 93.

72. - Trasmissione di moto ai generatori elettrici. — Per fornire alla parte girante dei generatori elettrici il moto di rotazione necessario, si collega in vario modo il generatore con un motore di qualsiasi tipo, purchè adeguato allo scopo (motore a benzina, a olio pesante, a vapore, elettrico, turbina idraulica). Il collegamento si può fare con una

trasmissione a cinghia, nel qual caso i due alberi del motore e del generatore sono paralleli l'uno all'altro, distanti di una determinata quantità, e muniti ciascuno di una puleggia (che può essere di legno o di ghisa), per l'appoggio della cinghia. Facendo le due puleggie di diverso diametro, secondo rapporti calcolati, si può avere la riduzione o la moltiplicazione di giri che si desidera fra il generatore ed il motore.

Se le due macchine hanno egual numero di giri, il collegamento può farsi con alberi disposti in prosecuzione uno dell'altro, con un giunto che può essere rigido oppure elastico, e, in quest'ultimo caso, a molle a balestra d'acciaio o a dischi di cuoio.

Talvolta il moto del generatore (quando è di piccola potenza) potrà aversi anche in altra forma, ad es.: a mano od a pedale, per lo più con l'intermedio di sistemi di ruote dentate, per l'opportuna moltiplicazione dei giri. Nel caso in cui il generatore sia installato a bordo di un veicolo aereo, specie di un aeroplano, il moto potrà aversi mediante mulinello od elica secondaria, la quale è tenuta in rotazione per effetto del vento relativo prodotto dallo spostamento del veicolo.

73. - Motori elettrici. — A seconda se si impiega corrente continua o corrente alternata, si hanno due differenti tipi di motori elettrici. In essi si trasforma l'energia elettrica della corrente continua o della corrente alternata in energia meccanica di rotazione.

Una dinamo può funzionare sempre da motore a corrente continua, quando si mandi in modo opportuno una corrente di tal genere nei suoi avvolgimenti.

Si abbia infatti una dinamo bipolare (fig. 94) e siano s e n le spazzole. Si faccia girare l'indotto nel senso delle lancette dell'orologio, e sia s la spazzola positiva e n quella negativa.

Se ora si stacca il motore che aziona la dinamo e, lasciando il campo *eccitato,* si alimenta l'indotto con una corrente continua, data da un altro generatore, la quale entri dalla spazzola n ed esca da quella s, cioè che abbia lo stesso senso della corrente prodotta dalla dinamo, allora si produrrá nell'indotto un flusso magnetico, che darà ad es. in s un polo sud ed in n un polo nord. Poichè poli di egual nome si respingono e poli di nome contrario si attraggono, il polo sud di s sarà attratto da N e respinto da S dell'induttore; quello nord di n sarà attratto da S e respinto da N. Così s'inizierà un movimento nel senso contrario alle lancette dell'orologio, contrario quindi in questo caso (in cui la corrente conserva lo stesso senso, sia nell'indotto che nell'induttore) al senso della rotazione dell'indotto quando la macchina funzionava da generatore. Non appena spostate le spire che in quel momento sono sotto le spazzole, ne subentreranno altre due, e il campo dell'indotto rimane fisso nello spazio, mentre le spire si succedono sotto le spazzole.

Così il movimento che si era iniziato verrà proseguito, finchè dura la corrente che percorre l'indotto (1).

Se il campo invece di essere creato da una semplice calamita è generato da una elettrocalamita, si avrà un motore a c. c., il quale potrà essere eccitato in serie

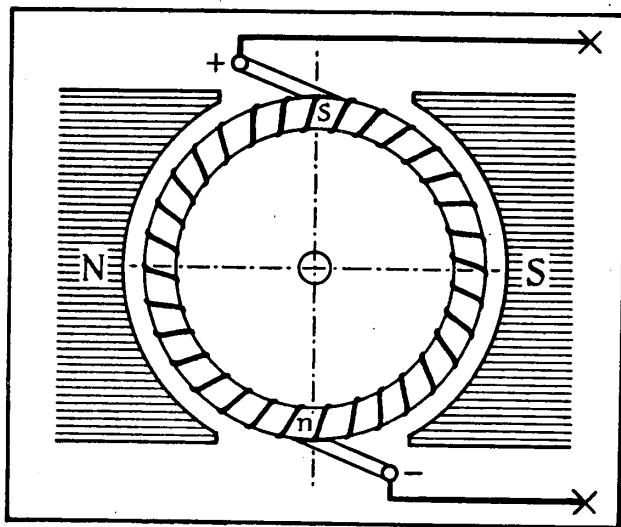
---

(1) Nella figura le spazzole sono disposte nel senso del moto come dinamo, e non in quello del moto come motore.

oppure in derivazione; e la corrente alimenterà sia l'indotto (che essendo la parte rotante si chiama rotore), che l'induttore (che si chiama anche statore).

I motori a *corrente alternata* sono distinti in due tipi: sincroni ed asincroni. I primi sono come costruzione identici agli alternatori; vengono alimentati, all'indotto con c. a. ed all'induttore con c. c. Il motore gira esattamente ad una determinata velocità, che è quella necessaria perchè la macchina, funzionando da alternatore, possa generare corrente di eguale frequenza di quella che riceve: da ciò il nome di motori sincroni. Quando il motore è arrivato al sincronismo, esso mantiene rigorosamente la sua velocità, fino al carico per cui è costruito; se si verifica un sovraccarico sensibile, il motore esce di sincronismo, e si ferma.

Fig. 94.

Nei motori asincroni la velocità di rotazione è leggermente inferiore a quella di sincronismo. In questi motori si manda corrente alternata nello statore; allora i poli di questo cambieranno continuamente di nome, e tutto procede come se i poli ruotassero intorno all'asse della macchina: si crea cioè un campo magnetico rotante, detto campo Ferraris (1). Il campo ruota con la velocità di sincronismo. Le linee del campo in rotazione tagliano le spire del rotore fermo, e creano in esse delle correnti indotte, e quindi un campo magnetico; questo reagendo col campo produce la rotazione del rotore. Poichè la condizione essenziale del funzionamento è la produzione delle correnti indotte nel rotore, per la qual cosa è necessario che esista un movimento relativo rispetto al campo induttore rotante, così il rotore deve girare sempre con velocità minore di quella di sincronismo, e tanto più bassa quanto più alto è il carico.

74. - Convertitori — Talvolta la corrente elettrica disponibile non è adatta all'uso cui si vuol destinare, ed è necessario allora modificarne le caratteristiche. Un gruppo di apparecchi che adempiono a tale funzione è dato dai trasformatori; di essi si parla al capitolo seguente. L'altro gruppo è costituito da macchine che hanno la denominazione generica di convertitori. Con queste macchine è possibile trasformare una corrente con-

---

(1) Da Galileo Ferraris (Livorno Ferraris (Piemonte) 1847 - Torino 1897).

tinua a bassa tensione in una, pure continua, ma ad alta tensione; una corrente continua in una corrente alternata; una corrente alternata in una continua; una corrente alternata di determinata frequenza in altra alternata di frequenza differente. I convertitori possono essere costituiti da un motore elettrico alimentato dalla corrente che si ha a disposizione, e che mette in moto un generatore, il quale fornisce la nuova corrente: le due macchine formano quindi un gruppo motogeneratore o gruppo convertitore. In casi particolari però, per piccole potenze, anzichè di due macchine distinte si può far uso di una sola macchina, che funziona contemporaneamente da motore e da generatore.

Se si tratta di c. c. a b. t. da cambiare in c. c. in a. t. la macchina unica prende il nome di convertitrice o survoltrice: l' armatura porta due avvolgimenti, calcolati secondo il rapporto delle tensioni richiesto, collegati ciascuno ad un proprio collettore (la macchina si chiama quindi anche dinamo a doppio collettore). Si manda la corrente disponibile nell'avvolgimento a bassa tensione e forte intensità, e si avrà così il funzionamento come motore; la macchina contemporaneamente genera la corrente ad alta tensione voluta, che si ricava alle spazzole dell' altro collettore (corrente di piccola intensità). Macchine di questo genere sono impiegate in stazioni radio trasmittenti a valvola; l'alimentazione è fatta con corrente fornita ad es. da batterie di accumulatori di capacità adeguata per il servizio. Così una convertitrice potrà essere alimentata a 12 volta, 10 ampere, e dare ad es. 750 volta con 100 milliampere.

Nel caso di trasformazione da c. a. a c. c., la macchina unica, che funziona da motore a c. a. e da dinamo a c. c., assume il nome di convertitore. La macchina è analoga ad una dinamo eccitata in derivazione, su gli avvolgimenti dell' indotto della quale sono presi due punti opportuni, collegati agli anelli d' ingresso della c. a. La macchina può anche essere alimentata dal lato del collettore, con c. c. a tensione conveniente, funzionando quindi come motore a c. c.; ed allora fornisce c. a. agli anelli. Ma per lo più, per la trasformazione da c. c. a c. a., si ricorre a gruppi di due macchine: motore c. c., alternatore.

I convertitori da c. a. a c. c. possono servire per carica di batterie di accumulatori; oppure per fornire corrente continua ad alta tensione, per l'alimentazione diretta delle stazioni radio a valvola. Se si tratta di batterie di non grande capacità e di tensioni basse, si ricorre con maggior comodità ai raddrizzatori di corrente, di cui si dà cenno più avanti. I convertitori da c. c. in c. a. sono impiegati in rt. per ottenere la c. a. monofase di alimentazione di stazioni radiotelegrafiche a valvola di una certa potenza, perchè in questo caso l'alimentazione ad alta tensione si ottiene più comodamente con la corrente alternata che non con la corrente continua.

I convertitori di c. a. di determinata frequenza in c. a. di frequenza superiore sono costituiti sempre da un gruppo di due macchine: motore, alternatore. Esistono inoltre dei trasformatori di frequenza, nei quali si ottiene di raddoppiare o triplicare la frequenza di alimentazione (1). I convertitori di c. a. a b. f. in c. a. ad a. f. si adoprano per l'alimentazione di stazioni ad onde persistenti di una certa potenza.

---

(1) Vedi appendice.

CAPITOLO V.

Trasformatori e Rocchetti d' induzione.

75. - GENERALITÀ. — I trasformatori sono apparecchi che s' impiegano per modificare le caratteristiche di una corrente elettrica, affinchè essa sia meglio atta a determinati usi. La potenza della corrente restituita dal trasformatore è uguale (a meno delle perdite di trasformazione) a quella della corrente che lo alimenta; le caratteristiche che vengono modificate sono la tensione e l' intensità della corrente, per modo che se una viene aumentata, l'altra viene diminuita in relazione.

I trasformatori sono anch'essi basati sul fenomeno della induzione elettromagnetica (nr. 56 e 57). Spiegando tale fenomeno si è detto che la produzione di correnti indotte poteva aversi, oltre che dal movimento dell' induttore e dell' indotto, anche dalla variazione del campo magnetico generato dalla corrente induttrice. Tale variazione è conseguenza di una variazione della corrente stessa; la quale può essere variabile di sua natura (corrente alternata), o resa variabile mediante un interruttore, quando non lo sia di natura (corrente continua). Si hanno così due tipi di apparecchi, secondo che la corrente di alimentazione è alternata oppure è continua, ed interrotta ad intervalli. Il primo apparecchio prende il nome di *trasformatore* propriamente detto: il secondo di *rocchetto di Ruhmkorff* (1850) (1) o *rocchetto di induzione.*

76. - TRASFORMATORE. — Si compone di due avvolgimenti di filo conduttore, isolati l'uno dall'altro e magneticamente accoppiati. Nei trasformatori elevatori o survoltori il primo avvolgimento detto *induttore* o *primario* è formato di filo grosso di rame, isolato, terminante con i capi a due serrafili (ingressi del primario), e avvolto in poche spire sopra un nucleo di ferro (fig. 95). Il secondo, detto *secondario* o *indotto,* è costituito invece da numerose spire di filo di rame più sottile e isolato, avvolte sopra il rocchetto primario e terminanti a due altri serrafili (uscite del secondario). Le variazioni di corrente nel primario, dando luogo ad un flusso variabile concatenato anche con il secondario, creano nei

(1) ENRICO DANIELE RUHMKORFF (Hanovre 1823 - Parigi 1877).

due avvolgimenti, e quindi anche nel secondario, una f. e. m. che si manifesta con una d. d. p. alle due uscite del secondario stesso.

Nei trasformatori devoltori il primario, a differenza di quanto oradetto, è l'avvolgimento con molte spire ed il secondario quello con poche spire.

Quando il secondario si chiude su un circuito elettrico esterno si otterrà in questo una corrente (secondaria). Tale corrente dà luogo ad un flusso magnetico che si combina con il flusso della corrente del primario, creandosi così un unico flusso risultante, concatenato sia con il primario che con il secondario. Sono le variazioni di questo flusso risultante che generano le due f. e. m. che si manifestano nel primario e nel secondario. E poichè la f. e. m. creata dalle variazioni dello stesso flusso in ogni spira è la stessa, ne segue che la f. e. m. prodotta nel primario è proporzionale al numero delle spire primarie e quella secondaria è proporzionale al numero delle spire secondarie. Il rapporto tra la f. e. m. indotta nel secondario e quella indotta nel primario è dunque uguale al rapporto fra il numero di spire del secondario e il numero di quelle del primario. Questo rapporto dicesi anche *rapporto di trasformazione*. Il rapporto inverso di questo, nelle condizioni ordinarie di lavoro, è invece, approssimativamente, uguale al rapporto fra le intensità delle due correnti, quella del secondario e quella del primario.

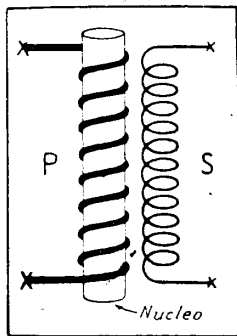



Fig. 95.

È da notare che le f. e. m. che sono tra loro nel rapporto di trasformazione sono quelle indotte dal flusso risultante nel secondario e nel primario. Ma quest'ultima f. e. m. deve essere mantenuta dalla f. e. m. che dall'esterno alimenta il trasformatore, cioè da quella che chiamasi la f. e. m. applicata al primario del trasformatore. Ora, in pratica, la f. e. m. applicata e quella indotta nello stesso primario dal flusso risultante, sono pressapoco eguali ed opposte, perchè si debbono equilibrare. Ne segue che, anche tra la f. e. m. secondaria e quella applicata al primario vale il rapporto di trasformazione.

Il trasformatore può invertirsi, come si è già detto, e cioè si può alimentare, con la corrente da trasformare, il circuito avente il maggior numero di spire, e ricavare corrente indotta dall' avvolgimento che ne ha in numero minore: in questo caso la tensione agli estremi del secondario è più piccola di quella del primario, ma è maggiore l' intensità della corrente che circola nel secondario.

Il trasformatore può quindi servire ad elevare la tensione e diminuire l' intensità di una data corrente; oppure a diminuire la tensione ed aumentare l' intensità; nel primo caso assume la qualifica di survoltore; nel secondo quella di devoltore.

Vi sono poi anche trasformatori di rapporto uno, che servono solo per isolare il circuito secondario dal primario, senza alterare le caratteristiche delle correnti.

77. - ROCCHETTO DI INDUZIONE. — Il rocchetto (o bobina) d'induzione ha il primario ed il secondario come nel trasformatore survoltore, ma è alimentato da corrente continua data da una batteria di accumulatori o da una dinamo. Occorre in questo caso che la corrente, come già detto, venga interrotta ad intervalli, affinchè si abbia un campo induttore continuamente variabile. Per ottenere ciò il circuito primario è provvisto di un interruttore automatico o vibratore (elettromagnetico per i comuni rocchetti). La f. e. m. al secondario, a parità di altre condizioni (cioè di rapporto di trasformazione e di f. e. m. applicata), cresce a misura che cresce la rapidità con cui varia la corrente primaria, e cioè quanto più brusca è la interruzione di corrente nel primario, e ciò in armonia con la legge della induzione, come si è visto al nr. 66 lettera b.

Poichè tale interruzione si può fare molto rapida, così la f. e. m. al secondario può essere elevatissima, anche se al primario è applicata una f. e. m. di pochi volta, data da una batteria di accumulatori.

Il rocchetto di induzione differisce dal trasformatore a c. a. esaminato al nr. 76 in ciò, che nel primo la f. e. m. continua che lo alimenta crea una corrente e quindi un flusso magnetico costante, il quale di per se stesso non darebbe origine a nessuna f. e. m. secondaria. È solo la brusca interruzione della corrente che, determinando la rapida cessazione e cioè una brusca variazione del flusso anzidetto, produce le f. e. m. indotte, e queste si manifestano sia nel secondario che nel primario, nel quale di solito si produce una scintilla all'interruttore. Le tensioni così prodotte nei due avvolgimenti sono in proporzione ai rispettivi numeri di spire, senza alcuna relazione diretta con la f. e. m. continua applicata.

Nel trasformatore è invece la f. e. m. applicata al primario che, essendo alternata, cioè variabile, determina direttamente le variazioni della corrente e quindi quelle del flusso, e le conseguenti f. e. m. secondaria e primaria. Delle due f. e. m. che si producono negli avvolgimenti, quella secondaria si manifesta direttamente alle uscite del secondario, mentre quella primaria è equilibrata dalla f. e. m. applicata al primario, la quale è approssimativamente uguale e contraria ad essa. In questo caso, perciò, come si è già detto al nr. precedente, la f. e. m. applicata e quella secondaria stanno approssimativamente fra loro nel rapporto dei numeri delle spire primarie e secondarie.

Nel rocchetto, per rendere più rapida la cessazione del flusso, si fa il nucleo di ferro rettilineo e aperto. Nel trasformatore, non verificandosi brusche variazioni di flusso, si può fare chiuso il nucleo, perchè ciò diminuisce la riluttanza magnetica e fa economizzare la corrente.

78. - ROCCHETTO DI RUHMKORFF. — La forma classica del rocchetto d'induzione è quella del rocchetto di Ruhmkorff, la cui costituzione è indicata nella fig. 96.

La spirale secondaria è costituita ad es.: da 5000 spire di filo sottile, isolato in seta, avvolto su un rocchetto di ebanite B, il quale ha un foro interno abba-

stanza grande perchè vi possa passare la spirale primaria D di circa 25 spire di filo grosso, avvolte sul nucleo di ferro C. Il rapporto di trasformazione sarebbe quindi

$$\frac{5000}{25} = 200.$$

I due estremi del secondario A sono terminati ai due serrafili E, detti *uscite del secondario.*

Il nucleo di ferro è formato da un fascio di fili di ferro dolce verniciati, coperto con nastro isolante: su di esso è avvolta la spirale primaria.

Come si vede dallo schema (fig. 97), quando il tasto G è abbassato, nella spirale primaria circola la corrente della batteria F, attraverso al contatto M N mantenuto da una lamina elastica H che preme contro la vite O (fig. 96). Il

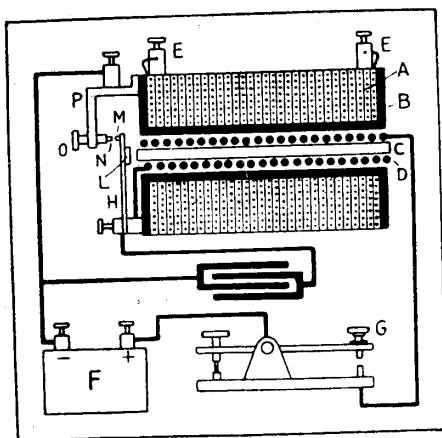



Fig. 96.

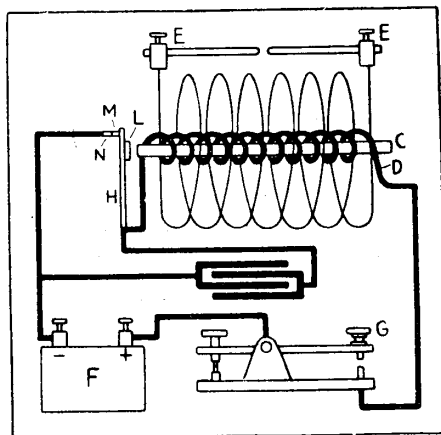



Fig. 97.

complesso della molla, la quale porta un disco di ferro dolce L affacciato al nucleo C del rocchetto, e della vite O con il suo sostegno P, costituiscono l' *interruttore* o *vibratore a martelletto;* la vite O fa da incudinetta e la molla H, con la sua testa M, fa da martelletto.

Spostando la vite O nel suo sostegno P si ottiene un contatto più o meno forte tra le due punte di platino M e N.

Abbassando il tasto G, il circuito primario è completo e la corrente circola nel primario dal polo positivo di F al contatto del tasto G, alla spirale primaria D, alla molla H, al contatto M N, al sostegno P ed al polo negativo di F.

Il primo effetto dello stabilirsi della corrente è la formazione del campo magnetico nel ferro, il quale si oppone al crescere della corrente, cosicchè questa aumenterà lentamente fino a raggiungere il suo valore definitivo. In questa prima fase il campo magnetico cresce anch' esso lentamente con la corrente, cosicchè, essendo relativamente lenta la sua variazione, nel secondario si genererà

una f. e. m. indotta relativamente piccola, che dura soltanto finchè si ha accrescimento (cioè variazione) del campo, e cessa appena la corrente primaria (e quindi il campo) ha raggiunto il suo valore definitivo.

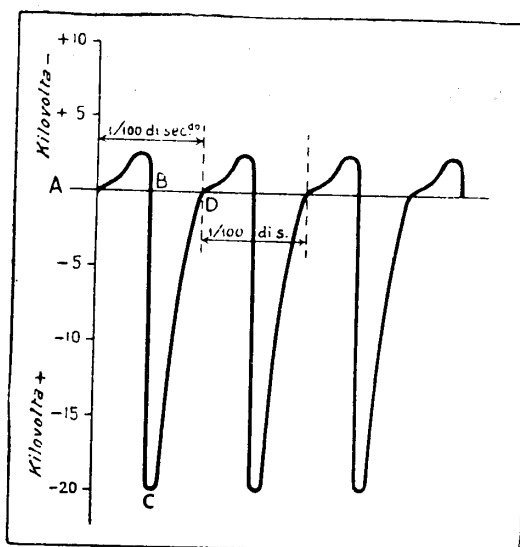
A questo punto però il nucleo di ferro, essendo completamente magnetizzato, attirerà il disco L di ferro dolce, unito alla molla H e affacciato al nucleo stesso: in questa attrazione il contatto M N viene rotto, e la corrente, già pienamente stabilita, viene bruscamente interrotta, cioè portata a zero. Si ha così la brusca variazione della corrente e quindi del campo magnetico, che dalla sua intensità massima si riduce rapidamente a zero; come conseguenza di ciò si ottengono nei due circuiti due f. e. m. indotte: quella indotta nel primario si manifesta con una scintilla brillante al contatto M N ove la corrente si interrompe (estracorrente di rottura); quella indotta nel secondario è la f. e. m. che si utilizza, ed è molto elevata, perchè uguale à quella indotta nel primario moltiplicata per il rapporto di trasformazione. Così con un rocchetto del tipo descritto si può ottenere, con 12 volta sul primario e con una sufficiente rapidità nella interruzione, una f. e. m., indotta nel primario di 100 volta. Nel secondario si otterrà di conseguenza una f. e. m. di 100 × 200 (rapporto di trasformazione) = 20.000 volta.

Fig. 98.

Se il nucleo del rocchetto ed il disco L sono di ferro molto dolce, cioè tale da non conservare menomamente il magnetismo indottovi dalla corrente, allora appena cessata la corrente primaria, cesserà anche il magnetismo del nucleo e l'attrazione del disco.

Succede quindi che, immediatamente dopo essere stato attratto, il disco viene nuovamente abbandonato dal nucleo e il contatto M N, che era appena stato interrotto, viene ristabilito.

Segue una nuova corrente primaria, con la riproduzione esatta dei due tempi già esaminati; per modo che il fenomeno, una volta iniziato, continua con successive e rapide chiusure ed aperture del circuito primario, causate dalla vibrazione della lamina H sotto l'influenza del nucleo C.

Nel secondario si ottengono successivi impulsi di elevatissime tensioni, corrispondenti alle successive rotture del contatto M N, impulsi alternati con altri di minore tensione, corrispondenti alle chiusure del contatto stesso. Tutto ciò dura per il tempo per cui si tiene abbassato il tasto G. Appena sollevato il

tasto, la corrente cessa nel primario, e con essa cessa ogni variazione di campo magnetico e quindi ogni tensione secondaria.

La fig. 98 mostra schematicamente l'andamento della tensione secondaria; A B rappresenta il tempo per il quale il circuito è chiuso; B D il tempo per cui è aperto.

Supponendo avvengano 100 battiti al secondo nell'interruttore, l'intervallo A D è $^1/_{100}$ di secondo e, se la tensione massima al secondario è 20.000 volta, l'ampiezza B C rappresenta tale tensione.

Si vede nella figura che le tensioni generate nei due tempi del fenomeno (chiusura ed apertura del circuito) sono di segno contrario, perchè corrispondono, una ad un aumento, l'altra ad una diminuzione del campo magnetico; ed inoltre che la tensione generata nel primo tempo (A B) è molto minore di quella generata nel secondo (B D). La f. e. m. generata ha dunque l'aspetto di una f. e. m. alternata dissimmetrica, cioè non sinusoidale.

CAPITOLO VI.

Unità di misura elettriche. - Strumenti di misura.

79. - DEFINIZIONE DELLE UNITÀ. — Nei capitoli che precedono si è avuto occasione di definire le unità di misura delle grandezze elettriche successivamente considerate. E precisamente al paragrafo 13 si sono stabilite le unità di misura della quantità (o massa) di elettricità e del potenziale; al paragrafo 14 della intensità della corrente elettrica; al paragrafo 22 quella delle resistenze elettriche; al paragrafo 31 quella della potenza elettrica; al paragrafo 32 dell'energia elettrica; a quello 42 della capacità; a quello 59 delle induttanze.

Come riassunto si dànno qui di seguito le definizioni delle varie unità:

1. - L'*ohm* è la resistenza offerta al passaggio della corrente da una colonnina di mercurio alla temperatura del ghiaccio fondente (zero gradi), della lunghezza di cm. 106,3 e della sezione un $^{m}/_{m^2}$.

2. - L'*ampere* è la corrente che passando in una soluzione di nitrato d'argento deposita per ogni secondo grammi 0,001118 di argento puro. Tale definizione è basata sul fenomeno della dissociazione dei sali sciolti nell'acqua, quando la corrente percorre la soluzione, che è conduttiva.

3. - Il *volt* è la differenza di potenziale che applicata agli estremi di un conduttore avente un ohm di resistenza, è capace di mantenervi una corrente di un ampere.

4. - Il *coulomb* è la quantità di elettricità che passa in un secondo in un circuito percorso dalla corrente di un ampere. Di conseguenza l'ampere è anche la corrente di un coulomb di elettricità al secondo.

5. - Il *watt* è la potenza ottenibile dalla corrente di un ampere, sotto la tensione di un volta.

6. - Il *joule* è l'energia elettrica ottenuta da un watt utilizzato per un secondo, e cioè è un watt-secondo.

7. - Il *farad* è la capacità di un corpo conduttore isolato nello spazio, che con la carica di un coulomb di elettricità raggiunga la tensione di un volta.

8. - L'*henry* è l'induttanza di un circuito nel quale la variazione di un ampere al secondo genera la f. e. m. indotta di un volta.

80. - Denominazione delle unità. — Le denominazioni delle unità sono state stabilite in onore di scienziati di vari paesi. Esse sono le seguenti:

1. - L'unità di tensione o f. e. m. è il *volta* o *volt* (abbreviato V) (da Alessandro Volta, Como 18 febbraio 1745, Como 5 marzo 1827).

Multiplo del volta è il kilovolta (kV) = 1.000 volta.

Sottomultipli del volta sono il millivolta (mV) = 1/1.000 di volta, e il microvolta (μV) = $\frac{1}{1.000.000}$ di volta.

2. - L'unità di intensità è l'*ampere* (abbreviato A) (da Andrea Maria Ampère, Lione 22 gennaio 1775, Marsiglia 10 giugno 1836).

Sottomultipli dell'ampere sono il milliampère (mA) = 1/1.000 di ampere ed il microampere (μA) = 1/1.000.000 di ampère.

3. - L'unità di resistenza è l'*ohm* (abbreviato Ω) (da Giorgio Simone Ohm, Erlangen 16 marzo 1787, Monaco di Baviera 7 luglio 1854).

Multiplo dell'ohm è il megaohm (MΩ) = 1.000.000 di ohm.

Sottomultiplo dell'ohm è il microhm ($\mu\,\Omega$) = 1/1.000.000 di ohm.

4. - L'unità di quantità di elettricità è il *coulomb* (abbreviato C) (da Carlo Agostino de Coulomb, Angoulême 14 giugno 1736, Parigi 23 agosto 1806).

5. - L'unità di potenza è il *watt* (abbreviato W) (da Giacomo Watt, Greenock (Scozia) 19 gennaio 1736, Birmingham 19 agosto 1819).

Multipli del watt sono l'ettowatt (hW) = 100 watt ed il kilowatt (kW) = 1.000 watt.

Sottomultipli del watt sono il milliwatt (mW) = 1/1.000 di watt ed il microwatt (μW) = 1/1.000.000 di watt.

La potenza dei motori si misura anche in cavalli vapore (C. V.): un cav. vap. = 735,7 watt = 75 Kgm al secondo.

6. - L'unità di energia è il *joule* (abbreviato J) (da Giacomo Prescott Joule, Salford 24 dicembre 1818, Sale 11 ottobre 1889).

Multipli del joule sono il wattora (Wh) = 3600 J; l'ettovattora (hWh) = 100 Wh; il chilowattora (KWh) = 1000 Wh.

7. - L'unità di capacità è il *farad* (abbreviato F) (da Michele Faraday, Londra 22 settembre 1791, Hamptoncourt 25 agosto 1867).

Sottomultipli del farad sono il microfarad (μF) = 1/1.000.000 di farad; il millimicrofarad (mμF) = 1/1.000.000.000 di farad ed il micromicrofarad ($\mu\mu$F) = 1/1.000.000.000.000 di farad.

La capacità si misura anche in centimetri: un $\mu\,\mu$ F = 0.9 cm.; un m μ F. = 900 cm.

8. - L'unità di induttanza è l'*henry* (abbreviato H) (da Giuseppe Henry, Albany (America) 17 dicembre 1791, Washington 13 maggio 1878).

Sottomultipli dell'henry sono il millihenry (mH) = 1/1.000 di henry ed il microhenry (μH) = 1/1.000.000 di henry.

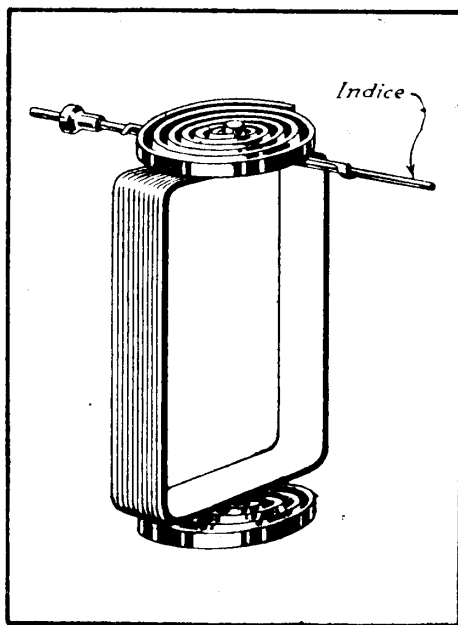
L'induttanza si misura anche in centimetri: 1 cm = 1/1.000 di μ H; 1 μ H = 1.000 cm.

Tali nomi di misura, derivando da nomi propri di persona, *non prendono la s al plurale*, perchè sono indeclinabili in italiano; inoltre, essendo nomi comuni, devono essere scritti con iniziale minuscola, pur conservando la lettera maiuscola nelle abbreviazioni.

81. - STRUMENTI DI MISURA ELETTRICI. — Per effettuare la misura delle grandezze elettriche si ricorre agli strumenti di misura o ai ponti. Si possono valutare direttamente con strumenti di misura le seguenti grandezze: tensione (con il voltmetro); intensità (con l'ampermetro); potenza (con il wattmetro); mentre si misurano con i ponti le altre grandezze: resistenza, capacità, induttanza. Gli strumenti per la tensione e per l'intensità possono essere di due categorie principali, a seconda se sono basati sull'effetto magnetico della corrente, oppure sull'effetto termico. Si possono avere strumenti per diverse applicazioni; da quadro, da tavolo, tascabili, ecc. e per diversi valori delle grandezze; come pure si possono avere strumenti d'impiego corrente, e strumenti di precisione. Fra questi ultimi si possono menzionare anche i galvanometri (1), che servono a valutare correnti dell'ordine di frazioni di microampere; importanti fra di essi i galvanometri a riflessione.

Fig. 99.

82. - STRUMENTI A EFFETTO MAGNETICO. — L'effetto magnetico che si sfrutta può essere quello di una bobina percorsa dalla corrente da misurare e che si sposta nel campo magnetico creato da una calamita permanente (strumenti magneto elettrici a bobina mobile); oppure quello di un pezzo di ferro dolce, sostenuto intorno ad un asse, che muove davanti ad una bobina percorsa dalla corrente (strumenti magneto elettrici a ferro mobile); e finalmente quello di una bobina mobile percorsa dalla corrente, che si sposta nel campo magnetico creato da un'altra bobina fissa, percorsa essa pure dalla corrente (strumenti elettrodinamici). In tutti i casi c'è un campo magnetico; fisso, nella prima forma, creato dalla corrente nella seconda e terza; e un equipaggio mobile, girevole intorno ad un asse, costituito dalla bobina percorsa dalla corrente nel primo e terzo caso; dal pezzo di ferro dolce nel secondo.

All'equipaggio mobile è sempre solidale un indice di materiale leggerissimo, il quale si sposterà in corrispondenza di un arco graduato. In tutti i casi la rotazione dell'equipaggio mobile dipende dall'intensità della corrente che percorre lo strumento, dal numero di spire della bobina e dall'azione di una molla antagonista (in genere una molla a spirale, come negli orologi) che tende a riportare l'equi-

(1) Così denominati in onore di LUIGI GALVANI (Bologna 1737 - Bologna 4 dicembre 1798).

paggio mobile alla posizione di riposo. Se poi il campo è creato da una calamita, allora la rotazione dipende anche dall' intensità del campo.

Il primo tipo di strumento serve per la corrente continua; il secondo ed il terzo sia per tale corrente che per quella alternata.

La fig. 99 rappresenta un equipaggio mobile a bobina; e la fig. 100 uno strumento del primo tipo.

Tutt' e tre i tipi indicati possono essere costruiti con bobina a filo grosso e poche spire, capace di portare intensità anche notevoli di corrente; si hanno

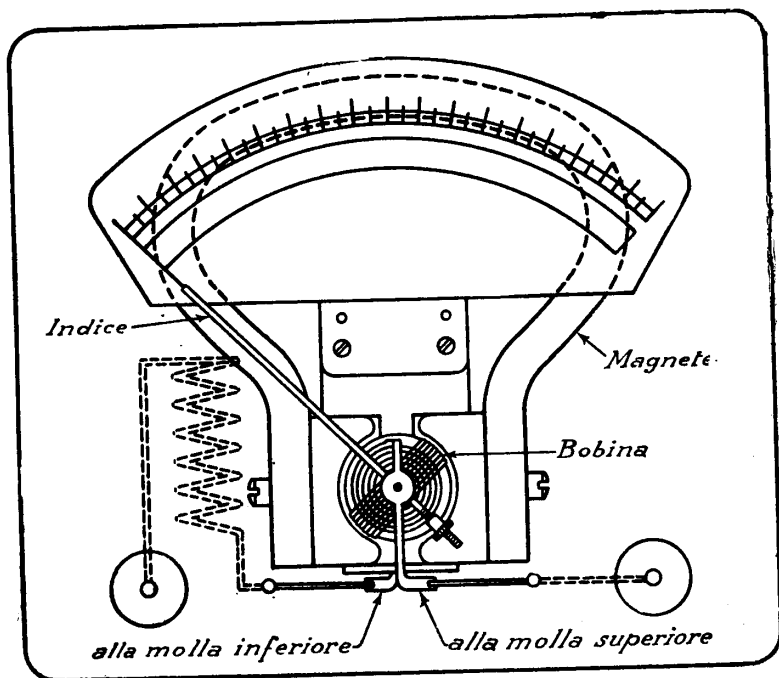



Fig. 100.

così gli ampermetri; oppure con bobina a filo sottile e molte spire, capace quindi di portare solo correnti di piccola intensità: si hanno così i milliampermetri ed i galvanometri.

Un milliampermetro può essere tarato, anzichè in milliampere, in volta; diventa così un voltmetro. La possibilità di taratura in volta (e cioè in unità di tensione o potenziale) deriva dalla legge di Ohm.

$$I = \frac{V}{R} \;(2) \quad \text{da cui} \quad V = R\,I \;(3)$$

Dalla relazione (3) si vede che valutato I è anche valutato V, semprechè si conosca R, resistenza della bobina, e questa R sia costante. Un voltmetro non è quindi che un milliamperometro tarato in modo diverso. Di conseguenza un

voltmetro è percorso da correnti solo dell'ordine di mA.; e se la tensione che esso può misurare è alta, ciò significa che il suo avvolgimento, fatto di filo molto sottile, è in molte spire, e quindi ha alta resistenza R.

In conclusione si può dire che il voltmetro è sempre di resistenza piuttosto elevata; l'ampermetro di resistenza piuttosto bassa.

Fig. 101.

83. - STRUMENTI A EFFETTO TERMICO. — Anche questi possono essere voltmetri o amperometri, a secondo la taratura. Possono appartenere al tipo a filo caldo oppure a quello a coppia termoelettrica.

Il tipo a filo caldo misura le correnti basandosi sull' effetto Joule di riscaldamento in un conduttore (la potenza consumata nel riscaldamento è proporzionale al quadrato dell' intensità della corrente). Per questo effetto il conduttore subirà un allungamento, che viene amplificato con un sistema di piccole leve, in modo da rendersi leggibile sul quadrante dello strumento. Ad es. si possono disporre le cose nel seguente modo: un filo metallico di una certa lunghezza, e che è suscettibile di una dilatazione notevole per un dato riscaldamento, si tesa fra due pilastrini a cui arrivano i capi della linea (fig. 101). Al punto di mezzo di tale filo (che è detto filo caldo) si attacca un filo di seta, il quale girando nella gola di una piccola puleggia, si fissa con il capo libero ad una piccola molla di tensione. Alla puleggia è solidale un leggerissimo indice, che si può spostare di fronte ad un arco graduato. La corrente, percorrendo il filo caldo, ne provoca l'allungamento, che viene tutto assorbito dalla molla di tensione a mezzo del filo di seta. Ma questo nel muoversi fa girare la puleggia e quindi l' indice.

Fig. 102.

Il filo si dilata non solo pel riscaldamento dovuto alla corrente, ma anche per la temperatura ambiente; e quindi, ad ampermetro a riposo, l' indice non segna molto spesso lo zero. Per poter eseguire la correzione, uno dei pilastrini di attacco del filo caldo è mobile rispetto all'altro, a mezzo di vite micrometrica; in tal modo, tesando o allentando il filo, si può riportare a zero l'ampermetro.

Il tipo a coppia termoelettrica utilizza la proprietà di alcuni contatti fra metalli eterogenei (ad es. ferro e costantana) di generare una f. e. m. detta termoelettrica, quando vengano scaldati. Tale f. e. m. può determinare una corrente continua che, misurata con un milliampermetro a c. c., serve a valutare il riscaldamento della coppia e quindi la corrente da misurare, che ha prodotto quel riscaldamento (fig. 102).

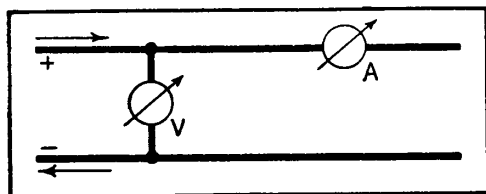



Fig. 103.

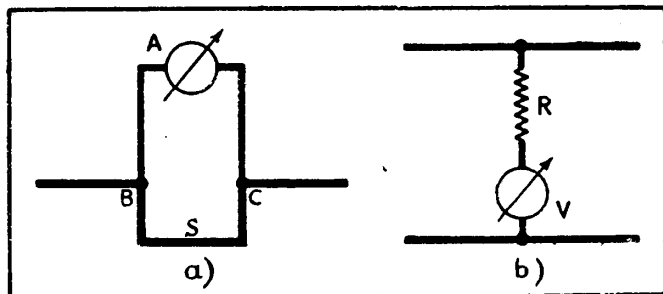
La coppia, anzichè essere inserita nel circuito della corrente da misurare, può esserne completamente separata: sul circuito si dispone allora un elemento che funziona da riscaldatore della coppia, che è mantenuta ad esso vicino.

Gli strumenti termici servono per correnti continue e per correnti alternate, dato che l'effetto Joule è funzione del quadrato dell' intensità della corrente (formula 15 par. 33).

84. - Inserzione degli strumenti di misura. — Gli ampermetri devono essere percorsi dalla corrente che devono misurare; essi quindi vanno collegati in serie nei circuiti, come A nella fig. 103, in cui si misura la corrente che circola nel circuito, supposto questo completo.

Fig. 104.

I voltmetri devono essere connessi ai due punti fra i quali si vuol misurare la differenza di potenziale, come V della fig. 103; e quindi vanno collegati al difuori e indipendentemente dal circuito esterno nel quale passa la corrente che si utilizza. La disposizione è quindi in parallelo o in derivazione sulla linea.

La fig. 103 rappresenta schematicamente i due collegamenti: V) per il voltmetro (in parallelo); A) per l'ampermetro (in serie).

85. - Shunt e resistenze addizionali. — Se la corrente che percorre uno strumento di misura è di intensità molto superiore a quella massima della sua graduazione, allora il filo interno si riscalda eccessivamente, e lo strumento brucia. Nel caso di un apparecchio a effetto termico si interrompe il filo caldo o la coppia t. e.; nel caso di un apparecchio a effetto magnetico, vanno in con-

tatto fra di loro (in corto circuito) le spire della bobina, per la bruciaturà dell'isolante. Gli strumenti devono essere dunque adoperati per tensioni e intensità non superiori a quella massima indicata nella graduazione.

Si può però impiegarli anche per tensioni e intensità superiori, purchè si munisca lo strumento di apposito shunt, se si tratta di un ampermetro; o di apposite resistenze addizionali, se si tratta di un voltmetro.

Lo shunt è una specie di ponticello derivato agli estremi dell'amperometro, come nella fig. 104 *a*). Fra i due punti B e C sono connessi lo strumento A e lo shunt S. In B arriva e da C parte la corrente. Da B per passare in C la corrente ha le due strade BAC e BSC, e le seguirà tutte e due, dividendosi in parti inversamente proporzionali alle rispettive resistenze (legge di Ohm; $i = V/R$). dato che la f. e. m. è la stessa per le due strade.

Se R_a e R_s sono le due resistenze, si avranno due correnti $i_a = \frac{V}{R_a}$ e $i_s = \frac{V}{R_s}$, tali che la loro somma è uguale all'intensità totale I. Sarà $i_s > i_a$ se $R_s < R_a$, e viceversa; e sarà pure $i_a = {}^1/_2\ i_s$, se $R_a = 2\ R_s$; od anche $i_a = {}^1/_{10}\ I$, e $i_s = {}^9/_{10}\ I$ (e cioè $i_s = 9\ i_a$), se $R_s = {}^1/_9\ R_a$.

In altri termini, se lo shunt si fa ad es. di resistenza 1/9 di quella dello strumento, allora la corrente I si dividerà in 10 parti eguali, di cui una passerà per lo strumento e 9 per lo shunt. Ed allora se sullo strumento si legge 1, si dovrà dire che la corrente totale è $10 = 1 + 9$; se si leggerà 2 si dovrà dire che è $20 = 2 + 18$; se si legge 100, che la corrente è $100 = 10 + 90$. La lettura dovrà dunque essere moltiplicata per il fattore costante 10; e lo strumento che è ad es.: tarato fino a 10 ampere, potrà, con lo shunt, essere inserito in un circuito fino a 100 ampere. Il fattore costante potrà naturalmente avere un valore diverso da 10 (es. 2, 5, ecc.), ; esso è dato dal rapporto $\frac{R_s + R_a}{R_s}$.

La resistenza addizionale è una resistenza R che si collega in serie con un voltmetro (fig. 104 *b*), quando si voglia impiegare lo strumento per la misura di tensioni superiori a quella per cui è costruito.

Si supponga che lo strumento abbia una resistenza R_s e sia costruito per una tensione massima V_s; la massima corrente che lo percorre sarà $I_s = V_s / R_s$. Se vi si applicasse una tensione $V >, V_s$ si avrebbe una corrente I che percorre il voltmetro maggiore di I_s, dato che è rimasto costante R_s, e ciò potrebbe danneggiare lo strumento. Ad evitare che la corrente superi I_s, occorrerà aumentare R_s, e precisamente nella stessa misura con cui varia V_s. Se $V = 2\ V_s$, allora R totale dovrà essere $2\ R_s$; e in generale se $V = n\ V_s$ si dovrà fare $R = n\ R_s$. Ora lo strumento ha resistenza R_s; per giungere a $2R_s$ occorrente nel primo caso, o a nR_s occorrente nel secondo, si dovrà mettere in serie con lo strumento una resistenza di valore R_s nel primo caso: di valore $(n - 1)\ R_s$ nel secondo. La stessa corrente percorre lo strumento e la resistenza addizionale: si avranno così due cadute di tensione, proporzionali alle rispettive resistenze, e la differenza totale di potenziale sarà la somma delle due cadute; cioè sarà uguale a quella attraverso

lo strumento (che viene indicata da quest'ultimo), più quella attraverso la resistenza addizionale, che è (n - 1) volte la precedente. La d. d. p. totale sarà cioè *n* volte quella letta sullo strumento.

È bene tener presente che gli shunt e le resistenze addizionali sono applicati solo agli strumenti per c. c. e a quelli per c. a. a frequenza molto bassa (industriale), quando cioè si possono trascurare le reattanze.

86. - Ponti di misura. — Sono circuiti speciali, comprendenti una sorgente di energia (a c. c. od a c. a.), strumenti di misura o telefoni, e elementi campioni (resistenze, capacità, induttanze), che si impiegano per misurare le grandezze R, C e L. Il più semplice è il ponte per misura delle resistenze o ponte di Wheatstone (fig. 105).

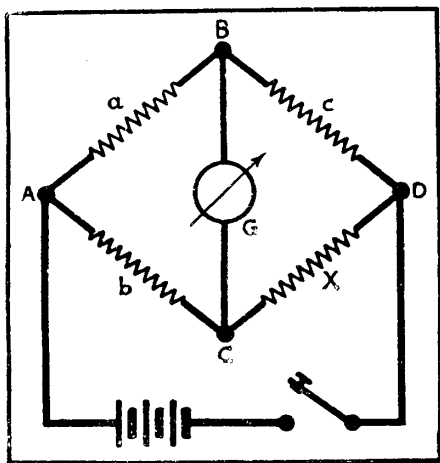



Fig. 105.

Il circuito comprende tre resistenze campione a, b, c e quella da misurare X, disposte sui lati di un quadrato ABDC ; ai punti A e D (estremi della diagonale AD) si collega una f. e. m. (batteria di pile) ; ai punti B e C (estremi della diagonale BC) è connesso un galvanometro.

Il ponte dicesi in equilibrio quando nella diagonale BC non passa corrente. In tal caso la corrente della batteria, giunta in A, ha le due strade AaBcD e AbCXD, che percorrerà con intensità inversamente proporzionali alle rispettive resistenze, le quali sono a + c per la prima strada ; b + X per la seconda.

Se V è la d. d. p. fra A e D, la corrente si dividerà dunque nelle due parti $\frac{V}{a + c}$ e $\frac{V}{b + X}$, e le cadute attraverso a e b saranno rispettivamente $\frac{V \cdot a}{a + c}$ e $\frac{V \cdot b}{b + X}$.

Con il ponte in equilibrio, tali cadute sono eguali: cioè $\frac{V \cdot a}{a + c} = \frac{V \cdot b}{b + X}$, perchè solo se B e C sono allo stesso potenziale, non passa corrente nel galvanometro. In tal caso sarà dunque

$$b + X = \frac{b}{a} (a + c) = b + \frac{bc}{a}$$

cioè

$$X = \frac{b \cdot c}{a} \qquad (38)$$

Trovato per tentativi i valori di a, b, c, che realizzano l'equilibrio del ponte (corrente zero nel galvanometro), si può dunque ricavare il valore di X.

Invece di una batteria di pile e di un galvanometro si può usare una cicalina (alimentata da una batteria di pile) ed un telefono; si verifica l'equilibrio quando non si ha alcun suono nel telefono.

I ponti per la misura delle capacità e delle induttanze sono più complicati di quello per le resistenze; fra i più usati sono da ricordare il ponte di Sauty per le capacità, e il ponte di Anderson per le induttanze. Nel ponte di Sauty la X sarà costituita dalla capacità da misurare, e la c da una capacità campionata. Ottenuto l'equilibrio (con cicalina e telefono), la relazione

$$X = c \frac{a}{b} \tag{39}$$

darà il valore della capacità.

Il rapporto $\frac{a}{b}$ (o $\frac{b}{a}$, per le resistenze) si farà di solito eguale a $^1/_{10}$, $^1/_{100}$, oppure a 1, 10, 100, 1000, ecc., ed allora il valore di X risulta un multiplo semplice del valore c che realizza l'equilibrio.

PARTE SECONDA

Principii di Radiotecnica.

Capitolo I.

Generalità sulle onde e sulle radiocomunicazioni.

87. - Propagazione delle onde. — La radiotelegrafia utilizza la propagazione delle onde elettromagnetiche. Per illustrare tale fenomeno si può fare il seguente esperimento. In uno specchio d'acqua tranquilla, oppure in un mastello molto grande d'acqua, si abbiano distanti fra di loro due galleggianti leggeri, ad es. due pezzetti di legno o di sughero. Quando la superficie dell'acqua è tranquilla, si scuota uno dei galleggianti, in modo da produrre un movimento nell'acqua; si vedrà allora che sulla superficie si formano delle *onde,* che si propagano in tutte le direzioni. Quando le onde avranno raggiunto il secondo galleggiante, questo si metterà in moto, compiendo qualche leggera oscillazione; poi gradatamente tutto tornerà tranquillo.

Un fenomeno analogo succede fra due stazioni r. t.

Per mezzo di speciali correnti elettriche che si mandano sull'aereo della stazione trasmittente, si provoca una perturbazione elettromagnetica che si propaga tutto in giro, come le onde ora dette; allorchè essa arriva all'aereo della stazione ricevente, genera su di esso delle correnti elettriche, analoghe a quelle dell'aereo di trasmissione; con opportuni apparecchi queste correnti possono essere rivelate. Sarebbe possibile trasmettere dei segnali per mezzo dei due galleggianti, attraverso alla superficie dell'acqua, ad esempio attribuendo il valore di una linea ad ogni serie di sei scotimenti, e il valore di un punto ad ogni serie di due scotimenti, ed applicando l'alfabeto Morse (1). Analogamente si potrà, ma molto più rapidamente ed a molto maggior distanza, trasmettere dei segnali,

(1) Samuele Fidley Morse (Charlestown (Massachusett) 25 apr. 1791 - Poughkepsie (New York) 2 apr. 1872).

valendosi delle proprietà ora dette degli aerei trasmittenti, di generare delle onde, e di quelli riceventi di diventare sedi di correnti elettriche, sotto l'azione delle onde elettromagnetiche.

88. - Natura delle onde. — In natura esistono molte perturbazioni analoghe alle onde liquide, e tutte si propagano radialmente dal punto di origine, ed in tutte le direzioni, come precisamente accade delle onde prodotte da un sasso che cade in acqua tranquilla. Un'altra osservazione importante che si può fare studiando, ad esempio, la propagazione delle onde superficiali dell' acqua, si è che ciò che si propaga non è l'acqua della superficie, ma soltanto il *movimento* dell'acqua: ciascun punto della superficie liquida sotto l'azione delle onde viene messo in moto, ma non per spostarsi nella direzione della propagazione,

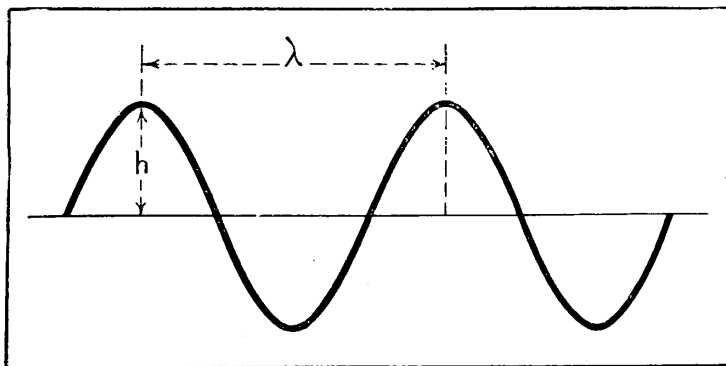



Fig. 106.

bensì soltanto *per spostarsi dalla sua posizione di riposo, con moto alternativo di salita e discesa.* Ciò si può vedere molto bene con un galleggiante il quale, sotto l'azione delle onde, compie precisamente una serie di oscillazioni in alto e in basso, restando però sempre al punto ove si trovava. Questa proprietà è comune a tutti i varî tipi di onde: l'onda è, cioè, una *propagazione di movimento* e non di materia: il suo effetto è di produrre, successivamente, per tutti i punti circostanti, delle oscillazioni intorno alla loro posizione abituale di riposo, ma non di spostarli nel senso della direzione di propagazione.

89. - Caratteristiche delle onde. — Per definire un' onda liquida, si devono dare due sue dimensioni: l' *ampiezza* e la *lunghezza* (fig. 106). L' *ampiezza* è la distanza del punto più alto dell'onda dal livello medio dell' acqua, ed è indicata con h: essa è pure eguale alla distanza del punto più basso dell' onda dal livello normale, perchè infatti le due parti dell' onda, quella al di sopra e quella al disotto del livello normale, sono eguali. Un' onda completa consiste appunto di due parti consecutive, una in elevazione e l' altra in depressione.

La *lunghezza dell'onda* è la distanza tra due creste consecutive in elevazione, e si indica generalmente con λ (1) (fig. 106). Tale distanza si mantiene eguale alla distanza tra due creste consecutive in depressione.

Le onde ora considerate, che si formano sulla superficie dell' acqua, non sono quelle che hanno le maggiori somiglianze con le onde e. m. impiegate in r. t.

Maggiori analogie si hanno nelle *onde di pressione*. Esse si formano con successivi spostamenti, per i quali il mezzo in cui le onde si propagano viene alternativamente compresso e dilatato. La lunghezza d'onda è in tale caso la distanza fra due punti successivi in cui si ha la massima compressione o la massima rarefazione. Il suono si propaga appunto in tal modo, e non solo nell'aria come abitualmente si osserva, ma anche nell'acqua ed in altri mezzi ; anche le vibrazioni meccaniche si propagano analogamente nei metalli e negli altri corpi solidi.

Le onde sonore si propagano nell'aria con velocità fissa di 331 metri circa al secondo, nelle normali condizioni atmosferiche; la loro lunghezza d'onda può essere molto variabile, da 20 m. a 1 cm. circa, tale cioè che in un secondo, data la velocità ora detta, possono passare per un dato punto da 16 a 33.000 onde circa. Questo numero di onde complete, che in un secondo passano per un dato punto, dicesi *frequenza dell' onda*. I vari suoni musicali non sono altro che onde sonore aventi diversa lunghezza d' onda ; onde corte dànno suoni acuti, onde lunghe dànno suoni gravi.

90. - RELAZIONE FRA LE CARATTERISTICHE DELLE ONDE. — Moltiplicando il numero delle onde che passano in un minuto secondo attraverso un dato punto, per la loro lunghezza, si ottiene la distanza percorsa dalla perturbazione in un secondo, e cioè la velocità di propagazione.

Quindi fra velocità, frequenza e lunghezza d'onda esiste la relazione fondamentale :

frequenza $\times$ lunghezza d'onda = velocità di propagazione,

e cioè $f \times \lambda = u$, ovvero

$$u = f \lambda \qquad (40)$$

Le onde di pressione obbediscono inoltre ad altre leggi importanti cui obbediscono anche le onde e. m. ; esse sono :

1° *La velocità con cui le onde si propagano* in un determinato mezzo è *fissa,* cioè è sempre la stessa per uno stesso materiale, sia nei punti vicini all'origine che nei punti più distanti ; sia si tratti di onde deboli che di onde potenti (piccola o grande ampiezza), di onde lunghe o di onde corte. La velocità di propagazione è in genere maggiore nei mezzi più densi che in quelli meno densi. Ad es. : le onde sonore si propagano con velocità di 331 metri al sec. nell'aria, di 1430 metri al sec. nell'acqua, e di circa 5000 metri al sec. nell'acciaio ;

(1) Leggi lamda.

2° *La lunghezza d' onda* per ogni determinata oscillazione *rimane costante* durante la propagazione, a qualunque distanza essa si consideri dall'origine;

3° *L' ampiezza dell' onda diminuisce gradatamente a misura che essa si allontana dall' origine,* fino a spegnersi ad una certa distanza; in altre parole, l' ampiezza dell' onda diminuisce col crescere della distanza dall' origine.

É da notare che le onde liquide superficiali dianzi considerate non obbediscono alle suddette leggi fondamentali, perchè le onde lunghe sono anche più veloci, cioè la velocità di propagazione non è la stessa per tutte le onde; ed inoltre l'ampiezza non è indipendente dalla lunghezza. Quindi non tutti i fenomeni che avvengono sulle superfici liquide hanno riscontro nelle onde e. m.

91. - Onde dell' etere. — Per spiegare il fenomeno della luce proveniente dalle stelle e dagli altri corpi luminosi, nonchè quello del calore irradiato dai corpi caldi, i fisici hanno dovuto ammettere che esista un mezzo detto *etere* che riempie tutti gli spazi e nel quale si propagano delle onde analoghe a quelle di pressione ora considerate. A seconda della lunghezza, tali onde hanno proprietà differenti; esse costituiscono diverse radiazioni elettromagnetiche, di capitale importanza in fisica.

Il seguente elenco dà i limiti di lunghezza d'onda delle varie radiazioni:

X *Raggi cosmici* (di origine estraterrena) inferiori al miliardesimo di millimetro.
Raggi γ (emessi dai corpi radioattivi) dell' ordine del miliardesimo di millimetro.
Radiazioni X o raggi Röentgen (1) inferiori al milionesimo di millimetro.
Radiazioni X molli, da circa 9 ÷ 10 a circa 30 milionesimi di millimetro.
Radiazioni attiniche o ultraviolette, da circa 30 a 380 milionesimi di millimetro.
Radiazioni luminose (dal violetto al rosso) da 380 a 720 milionesimi di millimetro (2).
Radiazioni calorifiche infrarosse, da 720 a circa 300.000 milionesimi di millimetro.
Radiazioni infraelettriche, da circa 0,3 a circa 3 millimetri.
Radiazioni elettriche (onde elettromagnetiche), da circa 3 millimetri a qualche km.

Le onde elettromagnetiche usate in r. t. dette anche hertziane, sono quelle comprese fra uno e 30.000 metri.

Per tutte le onde dell'etere ora viste valgono le tre leggi enunciate per le onde di pressione. Ad es. la velocità di propagazione, comune a tutte, è di 300,000 *km. al secondo,* cioè enormemente più grande di quella del suono. È questo il motivo per cui osservando lo sparo dei cannoni a distanza si vede prima la vampa e poi si ode il colpo: per lo stesso motivo il lampo precede sempre il tuono.

---

(1) Guglielmo Corrado Röntgen (Lennes 27 mar. 1845 - Berlino 1920).

(2) Per le radiazioni luminose ed i raggi X si usa spesso come unità di misura $\frac{1}{100.000.000}$ di cm (10^{-8} cm.), col nome di unità Ängström (U. Ä.). (Da Andrea Giosia Ängström - Lödgö (Svezia) 13 agosto 1814 - Upsala 21 giugno 1874). La luce corrisponde quindi alle radiazioni da 3800 a 7200 U. Ä. Un'altra unità creata per le piccole lunghezze è il micron (μ), cioè il milionesimo di metro o millesimo di millimetro; un micron vale 10^4 U. Ä.

92. - ONDE HERTZIANE. — In r. t. si usano le onde elettromagnetiche relativamente lunghe, ma con tendenza ad impiegare quelle sempre più corte; e tali onde sono chiamate anche hertziane dal prof. Hertz (1) che primo le sperimentò e indicò il modo di produrle con mezzi elettrici. Le onde più lunghe che egli ottenne nei suoi esperimenti (verso il 1882) erano di circa 10 metri; esse sono press' a poco quelle più corte ora in uso, mentre nelle stazioni r. t. ultrapotenti si ottengono anche onde di 30.000 metri.

Le onde usate in radiotelegrafia si possono riunire in diversi gruppi a seconda la loro lunghezza e cioè: onde *ultralunghe*, maggiori di 3000 metri; *lunghe* fra i 3000 e i 1000 m.; *mediolunghe* dai 1000 ai 300 m.; *mediocorte* dai 300 ai 100 m.; *corte* dai 100 ai 10 m.; *ultracorte* inferiori ai 10 m. (2).

Le onde hertziane si propagano nell' etere con la stessa velocità della luce, cioè come si è detto, a 300.000 km. al secondo. La propagazione avviene nel modo migliore quando il mezzo circostante è isolante. Le onde hertziane non possono infatti penetrare nei corpi perfettamente conduttori; penetrano in modo debolissimo attraverso l' acqua, e la terra umida, ed un poco meglio nel suolo asciutto e nelle rocce secche, perchè queste sono più o meno isolanti.

È stato provato in vari modi che l' atmosfera non è un perfetto isolante, pel fatto che in essa si trovano sempre delle cariche elettriche (ioni ed elettroni), che la rendono più o meno conduttrice. La ionizzazione dell'atmosfera, e cioè la formazione in essa di particelle gassose cariche di elettricità, sembra dovuta in modo preponderante all' azione dei raggi solari; essa varia quindi secondo le ore del giorno e secondo le stagioni e le latitudini, nonchè per effetto di fenomeni meteorologici. Col variare della ionizzazione varia la conduttività, e sembra certo che in generale tale conduttività cresca con l' altezza dal suolo, fino ad un massimo ad un' altezza variabile di varie diecine di km. Le regioni dove è massima tale conduttività costituiscono degli strati conduttori (strati di Heaviside), ai quali si attribuiscono la maggior parte dei fenomeni più o meno strani che si verificano nella propagazione delle onde. Così sembra certo che tali strati producono una rifrazione delle onde e. m., incurvandole gradatamente verso il basso, ed anche provocandone la riflessione totale. Le modalità del fenomeno sono però molto influenzate dalla lunghezza dell'onda che si propaga, al variare della quale si hanno manifestazioni svariatissime, come portate eccezionali e zone di silenzio, echi, assorbimenti, anomalie diurne e stagionali, sulle quali si ritornerà trattando specialmente delle onde corte.

93. - RIVELAZIONE DELLE ONDE HERTZIANE. — Per rivelare la presenza delle onde hertziane nelle stazioni riceventi si impiegano i *cimoscopi*, o rivelatori

---

(1) ENRICO ADOLFO HERTZ (Amburgo 22 febb. 1857 - Bonn 1° gen. 1894).

(2) Secondo la conferenza internazionale dell'Aia (settembre 1929) le onde dovrebbero essere così raggruppate: *lunghe*, maggiori di 3000 m.; *medie*, da 3000 a 200 m.; *intermedie*, da 200 a 50 m.; *corte*, da 50 a 10 m.; *ultracorte*, inferiori ai 10 m.

di onde, che hanno lo stesso ufficio dell'orecchio per le onde sonore e degli occhi per quelle luminose. Il cimoscopio ha per scopo di rendere percettibili ai nostri sensi le correnti create in un aereo ricevente da un'onda che vi incida.

La presenza di queste correnti, che sono debolissime, si rivela in genere per mezzo di un telefono disposto in modo conveniente con il cimoscopio; nella maggior parte dei casi la ricezione quindi è ad udito. La ricezione scritta è anche possibile, ma richiede dispositivi più complessi, ed è più spesso usata negli impianti di maggior potenza, in genere adibiti alla corrispondenza commerciale.

94. - Comunicazioni radio. — Per ottenere una comunicazione r. t. occorre quindi una stazione trasmittente, destinata a produrre le onde e. m., ed una ricevente, nella quale tali onde sono rivelate per mezzo del cimoscopio. Basterà combinare delle emissioni lunghe e brevi di tali onde, ed attribuire loro il significato di linea e punto (secondo l'alfabeto Morse), per stabilire un mezzo di comunicazione radiotelegrafica.

La comunicazione radiotelefonica si ottiene facendo funzionare le onde e. m. come supporto delle emissioni telefoniche; cioè, come si vedrà in seguito, modulando la emissione radio (la quale deve essere ad onde persistenti), vale a dire facendone variare l'ampiezza (o modulo) col ritmo delle frequenze telefoniche. Alla ricezione, con un processo di demodulazione (o di rettificazione, o di rivelazione), della emissione radio si riottiene la corrente telefonica udibile.

Capitolo II.

Onde elettromagnetiche.

95\. - Campo elettrico e campo magnetico. — Nella parte prima (nr. 54) si sono considerati il *campo magnetico,* prodotto dalle calamite e dalle elettrocalamite ed in genere dalle correnti elettriche, ed il *campo elettrico* (nr. 38) prodotto dalle cariche elettriche. I due campi sono dovuti a due condizioni diverse della elettricità.

L' elettricità in moto (e cioè la corrente elettrica) produce un campo magnetico: le linee di forza (cioè le linee lungo le quali si manifestano le forze del campo)

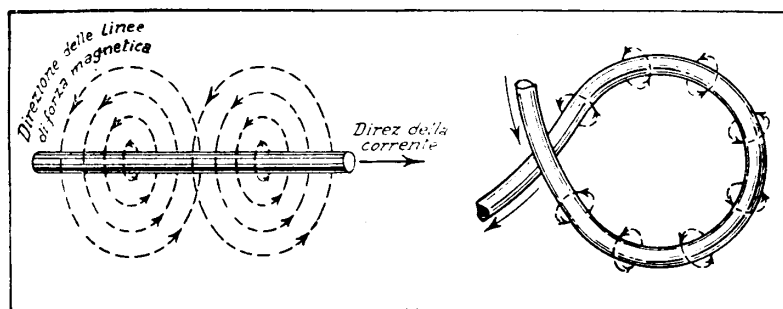



Fig. 107.

circondano la corrente, hanno un senso di rotazione determinato dalla direzione della corrente stessa (fig. 107), e sono contenute in un piano perpendicolare a tale direzione. Il senso di rotazione è quello stesso di un cavaturaccioli che si avviti per seguire la corrente.

L' elettricità ferma (sotto forma di carica elettrostatica) produce un campo elettrico: le linee di forza partono dalla carica ed irradiano da essa, dirigendosi verso i punti di potenziale più basso (fig. 108), oppure vi arrivano dai punti di potenziale più alto (fig. 109).

96. - CORRENTI OSCILLANTI E CAMPO ELETTROMAGNETICO. — Si consideri ora un filo steso verticalmente e isolato da terra, e si supponga di potere, con mezzi adatti, caricarlo e scaricarlo elettricamente con grande rapidità, prima positivamente, indi negativamente, poi ancora positivamente e così di seguito. Si consideri un periodo completo di carica e scarica. Durante la prima fase della carica positiva, si ha sul principio una corrente che cresce rapidamente d'intensità per caricare tutto il filo, che diminuisce in seguito, a misura che il filo si carica e che cessa del tutto a carica finita (fig. 110 *a* - prima metà della curva). Succederà ugualmente delle forze magnetiche prodotte da tale corrente: esse cominceranno a crescere rapidamente, poi più debolmente, poi diminuiranno ed infine spariranno del tutto quando finisce la corrente (fig. 110 *b* - prima metà della curva). La carica elettrica del filo andrà invece gradatamente aumentando, fino a raggiungere il massimo alla fine di questo primo tempo, cioè quando la corrente di carica sarà cessata completamente (fig. 110 *c* - prima metà della curva);

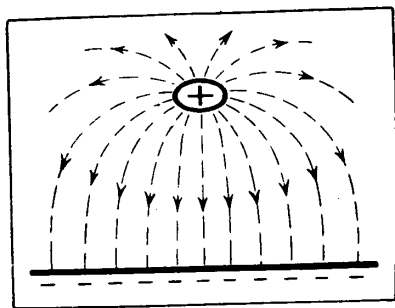



Fig. 108.

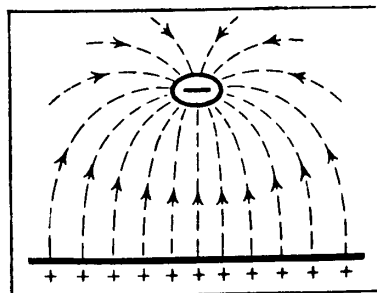



Fig. 109.

contemporaneamente aumenteranno le forze elettriche che essa carica genererà nelle sue vicinanze (fig. 110 *d* - prima metà della curva). Alla fine del primo tempo si avrà quindi corrente nulla, carica massima; il campo magnetico con le sue linee di forza sarà aumentato, poi diminuito e infine sparito: il campo elettrico sarà invece cresciuto fino al massimo.

Nella seconda fase, carica negativa, la carica positiva del filo comincerà a diminuire rapidamente, perchè man mano neutralizzata dalla carica negativa, finchè si ridurrà a zero, e da quel punto comincerà a diventare negativa, fino ad un massimo, di valore eguale al massimo della fase precedente (fig. 110 *c* - seconda metà della curva). Contemporaneamente la corrente di scarica (corrente negativa di carica), comincerà a crescere, raggiungendo il massimo quando la carica del filo sarà zero, poi comincerà a diminuire ed infine cesserà quando il filo sarà completamente carico negativamente (fig. 110 *a* - seconda metà della curva).

Il campo magnetico avrà seguìto le vicende della corrente, cominciando a crescere in direzione opposta a quella della fase precedente, fino ad un massimo e poi diminuendo di nuovo fino a zero (fig. 110 *b* - seconda metà della curva);

il campo elettrico, seguendo le variazioni della carica, sarà invece diminuito fino a zero e poi sarà aumentato fino al massimo, ma in senso inverso al precedente (fig. 110 *d* - seconda metà della curva).

Questa alternativa di cariche e scariche che si succedono continuamente, se avviene con una certa rapidità, e cioè con una frequenza abbastanza grande, costituisce una *corrente oscillante,* vale a dire una corrente i cui valori oscillano tra due massimi alternativamente di segno contrario, e che dà luogo contemporaneamente ad alternative di aumenti e diminuzioni, sia nel campo elettrico che in quello magnetico. I due campi, che si avvicendano come le cariche e le correnti, costituiscono nel loro insieme il cosiddetto *campo elettromagnetico.*

(Le ascisse sono proporzionali al tempo).

Fig. 110.

97. - FORMAZIONE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE. — Questi due campi di forze hanno in comune una proprietà fondamentale, e cioè le loro linee di forza, a misura che si producono, tendono ad espandersi, spostandosi con la velocità della luce.

In altre parole, gli effetti dei due campi vengono risentiti successivamente in punti sempre più distanti, e la velocità di propagazione è quella della luce. In tal modo gli effetti delle prime linee di forza, continuando a propagarsi, saranno giunti ad una certa distanza, quando il campo, dopo essere cresciuto e diminuito, sarà sparito alla fine del primo tempo ; saranno giunti a distanza doppia dopo un tempo uguale, che si può chiamare secondo tempo, e così di seguito. Le linee di forza prodotte successivamente saranno invece giunte a distanze minori, in relazione al tempo in cui furono generate: ad esempio l'effetto delle forze generate al principio del secondo tempo sarà giunto appena ad una distanza metà. Cosicchè, se alla fine del secondo tempo si esaminasse lo spazio circostante, si potrebbe rilevare che il campo ha intensità variabile a seconda

della distanza. E precisamente, se si rappresenta l'intensità delle forze, alle varie distanze con dei segmenti proporzionali alle forze elettriche, portando al di sopra dell'orizzontale quelli dovuti alle cariche positive e al disotto quelli dovuti alle cariche negative, e se si uniscono tutte le estremità dei segmenti con una linea continua, si viene ad avere una curva come nella fig. 111, che ha precisamente la forma di un'onda.

Quanto sopra si verifica per tutti e due i campi, quello elettrico e quello magnetico, ricordando però che essi sono sfasati l'uno rispetto all'altro, e cioè, quando è massimo quello elettrico, è nullo quello magnetico e viceversa. Continuando a caricare il filo alternativamente con cariche positive e negative, il fenomeno continua, e così pure continua la produzione e la propagazione di altre onde, sia di forza magnetica, sia di forza elettrica.

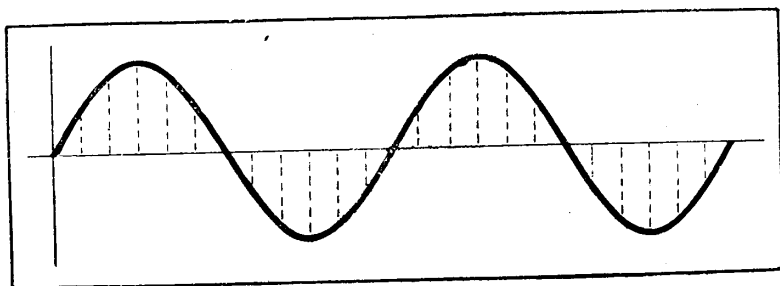
È da notare che lo sfasamento ora accennato tra il campo elettrico e quello magnetico indica uno scambio di energia fra il circuito generatore (aereo) e lo

(Le ascisse sono proporzionali alle distanze).

Fig. 111.

spazio circostante che, se fosse perfetto, non potrebbe dar luogo ad alcun effetto a grande distanza. Sta però il fatto che in questo alternativo scambiarsi della energia tra antenna e campo circostante, una piccola parte della energia stessa viene irradiata, cioè si distacca definitivamente dall'oscillatore e viaggia tutto intorno con la velocità della luce. È precisamente questa piccola parte dell'energia oscillante che non ritorna più dal campo all'oscillatore, che dà luogo alle onde e. m. impiegate nelle radiocomunicazioni: essa si manifesta con una progressiva diminuzione dello sfasamento fra i due campi, col crescere della distanza. Tale sfasamento, che è ancora di circa 45° a $^1/_6$ di lunghezza d'onda dall'oscillatore, si riduce a 15° a circa $^1/_4$ di onda, ed è quasi zero alla distanza di un'onda dall'oscillatore.

In conclusione quindi, nelle immediate vicinanze dell'antenna (e più precisamente a meno di un sesto circa di lunghezza d'onda), si ha un campo elettrico ed un campo magnetico che si alternano, e che hanno una intensità ragguardevole, ma di cui l'energia si limita ad uscire alternativamente dall'oscillatore ed a ritornare su di esso, mentre alle distanze maggiori di un'onda dall'oscillatore

esiste solo il campo e. m. dovuto all'energia che, per essersi staccata dall'oscillatore, se ne allontana definitivamente.

Tale campo e. m. a distanza è caratterizzato dalla coesistenza dei due campi, elettrico e magnetico, i quali però non sono più sfasati, ma sono in fase, e cioè hanno in uno stesso punto i massimi ed i minimi contemporaneamente. Inoltre le ampiezze dei due campi sono tra loro in un rapporto costante : essi sono come due diversi aspetti dello stesso fenomeno, che è l' irradiazione dell'energia elettrica.

Ora l'energia così irradiata proviene dall'aereo trasmittente ; e poichè essa si propaga di massima in tutte le direzioni, così la sua intensità andrà sempre diminuendo, a misura che, allontanandosi dall' origine, essa si distribuisce su superfici sempre più grandi. Infatti è stato verificato che la intensità del campo dovuto all' irradiamento dell' energia diminuisce presso a poco in proporzione della distanza, salvo il caso in cui, per l' assorbimento per parte del terreno o dell'atmosfera, subisca una diminuzione maggiore.

L' irradiamento dell'energia che si ha in modo speciale negli aerei ad antenna, percorsi da cariche alternativamente ascendenti e discendenti, si verifica anche nei circuiti chiusi e specialmente nei cosidetti aerei a telaio, a spire piuttosto ampie e verticali, per effetto delle correnti che circolano, alternativamente in un senso e nel senso opposto, nelle spire di tali aerei. In tal caso si devono considerare i due lati verticali del telaio come due aerei normali, percorsi da correnti di direzioni opposte. Il loro effetto è quindi quello dovuto alla differenza degli effetti di queste correnti, ed è di conseguenza enormemente minore di quello dovuto all'unica corrente che si avrebbe su un solo aereo. Questo diverso comportamento spiega anche l'effetto direttivo dei telai, dovuto al fatto che nel piano perpendicolare al proprio, gli effetti delle due correnti opposte che percorrono le due metà del telaio arrivano esattamente insieme, ed essendo opposte si annullano. Nel piano del telaio invece la piccola distanza fra i due lati produce una piccola differenza di effetto, ed è appunto questa differenza che viene percepita. Il telaio quindi irradia enormemente meno dell'antenna, ed in modo preponderante nella direzione del suo piano.

Fig. 112

Si può dunque concludere che le onde e. m. si generano per mezzo di correnti oscillanti, che si creano su un filo isolato (l'*aereo* delle stazioni r. t.), per mezzo di successive cariche elettriche (alternativamente positive e negative), lanciate sul filo stesso, oppure per mezzo di correnti alternativamente dirette in senso inverso, che si producono sopra un circuito chiuso comprendente una o più spire di grande area, disposte verticalmente.

98. - Meccanismo della irradiazione. — Allo scopo di avere un' idea più chiara e più completa del meccanismo di produzione delle onde o irradiazione, si consideri il filo isolato di cui al nr. 96, in presenza di un altro filo identico, pure isolato, e disposto sul prolungamento del primo, come indica la fig. 112. Ciò costituisce un oscillatore simmetrico di Hertz, detto anche dipolo.

Tale oscillatore potrà caricarsi con un sistema adeguato, per modo che all'istante iniziale il filo superiore abbia una carica positiva e quello inferiore una negativa. Il campo elettrico in quell'istante, costituito dalle linee di forza che vanno dalle cariche positive a quelle negative, è rappresentato nella fig. 113.

Si supponga che, ad un dato momento, una scintilla metta in comunicazione i due fili e ne permetta la scarica. Per tutta la durata di questa c'è passaggio

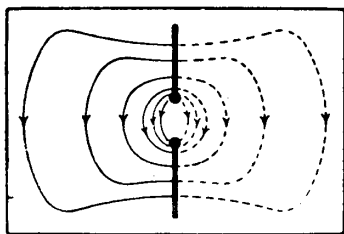



Fig. 113.

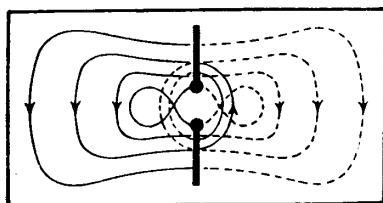



Fig. 114.

di cariche elettriche, per modo che le linee di forza vengono man mano contraendosi, accostandosi alle estremità vicine dei due fili, mentre quelle che partivano dalle cariche che si trovavano sulle dette estremità, per seguire le cariche stesse, si sono staccate dai fili, hanno percorsa la scintilla, e si sono incrociate, (fig. 114), dato che i due fili, durante la fase di scarica, si caricano in senso opposto. Si vengono così a formare degli anelli (figg. 114 e 115), che si stac-

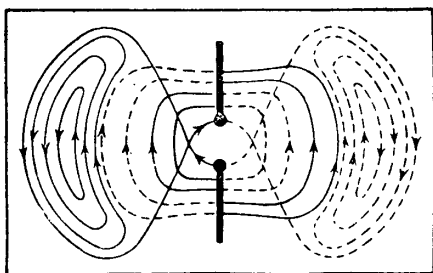



Fig. 115.

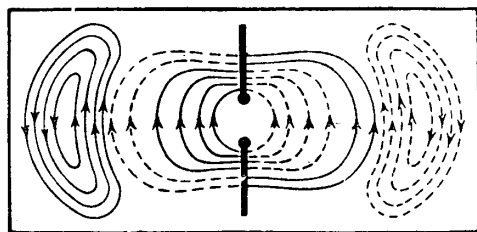



Fig. 116.

cheranno man mano, per ogni linea di forza che, nel movimento delle masse elettriche, viene trascinata oltre la scintilla. Quando tutte le masse elettriche sono passate, e si è invertita la carica dei due fili, si avrà un campo elettrico analogo a quello iniziale, ma con direzione opposta nelle linee di forza; ed inoltre, esterno a tale campo, si avrà un anello di linee di forza staccato dall'oscillatore, e quindi libero di propagarsi (fig. 116).

Subito dopo, le linee di forza del campo aderente al filo cominceranno a contrarsi, per il movimento in senso opposto delle cariche elettriche; si ripeterà

un fenomeno identico al precedente, e si staccheranno alla fine di tale fase degli altri anelli di linee di forza, aventi direzione opposta ai precedenti.

Nello stesso tempo si ha la produzione del campo magnetico generato dalla corrente, il quale campo è rappresentato da linee di forza circolari, contenute in un piano normale all'oscillatore, e perciò normale al foglio del disegno; linee che entrano nel foglio ad es., a destra dell'oscillatore, e ne escono alla sinistra (non rappresentate nelle figure). La produzione delle linee di forza magnetica cessa quando cessa il movimento delle masse, e cioè appunto quando il campo elettrico ha la massima ampiezza; ma si ristabilisce poi, ed in direzione opposta, non appena si inizia la seconda fase di scarica dell'oscillatore.

Fig. 117.

Man mano che gli anelli di linee di forza elettrica si allargano nello spazio, diminuiscono di curvatura, cosicchè può ritenersi che in ogni direzione, a grande distanza dall'oscillatore, il campo si muova con una fronte piana; in questo stesso piano sono contenute le linee di forza magnetiche, che sono orizzontali, ad angolo retto con le linee di forza elettriche.

Il sistema oscillante finora considerato si può ridurre ad una metà, purchè l'altra metà sia sostituita da un buon contatto con la superficie della terra (fig. 117), la quale compie in questo caso la funzione di uno specchio che rifletta l'immagine del campo sopra il suolo: la presenza di questo specchio sostituisce la presenza delle linee di forza sotto il piano dello specchio. Si ha così l'oscillatore marconiano, per il quale il campo elettrico è rappresentato dalla metà superiore delle precedenti figure da 113 a 116.

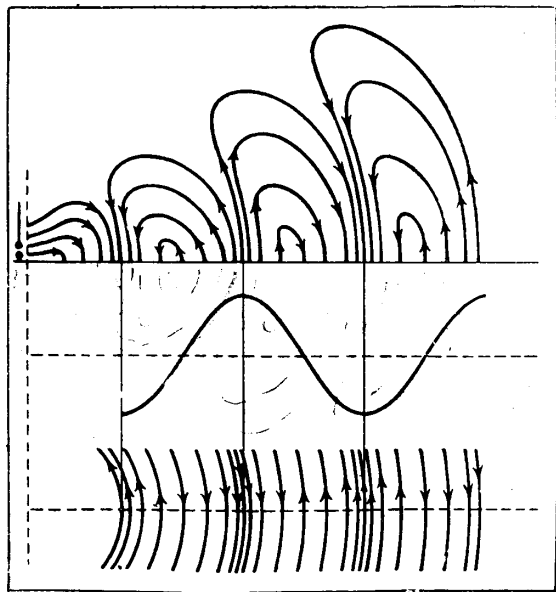



Fig. 118.

Il meccanismo di produzione del campo e. m. con l'oscillatore marconiano è identico a quello col dipolo; con l'avvertenza che si generano solo le mezze linee superiori di forza elettrica, come si vede nella fig. 118, dove sono anche rappresentate, in pianta, le linee di forza magnetica. A grande distanza, i due campi, essendo in fase, e con le fronti piane, si presenteranno come nella fig. 119, dove le linee di forza elettrica sono viste in elevazione e quelle di f. m. in pianta.

99. - LUNGHEZZA D'ONDA. — Si consideri ora un tratto di 300.000 km. a partire dall'aereo: cioè tutta la distanza che sarebbe percorsa in un minuto secondo dalle onde. Se le alternative di cariche e scariche si succedono con grande rapidità, in modo che ciascuna di esse duri una piccolissima frazione di secondo,

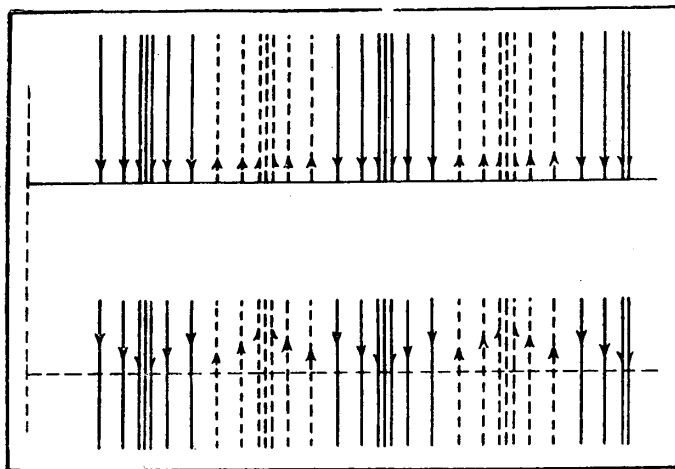



Fig. 119.

si ha che quando l'effetto delle prime cariche e scariche avrà raggiunto l'estremo del tratto considerato, altre cariche e scariche saranno avvenute, di cui gli effetti saranno contemporaneamente contenuti in tale tratto. Nella fig. 120 ne sono segnate 10; ogni onda risulterebbe perciò lunga 30.000 km.

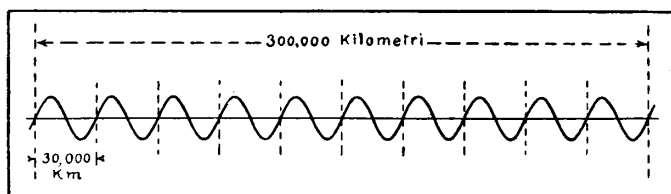



Fig. 120.

Queste sarebbero onde eccessivamente lunghe. In pratica le oscillazioni che si usano in r. t. si susseguono con una rapidità molto maggiore di 10 al secondo, e cioè di varie centinaia di migliaia ed anche di milioni al secondo: le onde risultano così proporzionalmente più corte: quanto più piccola sarà la durata di un'oscillazione, e tanto più numerose saranno le onde contenute nei 300.000 km percorsi in un secondo.

Fra i vari elementi esiste dunque la seguente relazione: la durata T'' di un'oscillazione sta in un secondo (1''), come la lunghezza λ dell'onda corrispondente sta in 300.000 km. e cioè

$$\frac{T''}{1''} = \frac{\lambda\ (Km)}{300.000} \quad \text{da cui} \quad \lambda_{(km)} = 300.000\ T_{(sec)}. \qquad (41)$$

Ora la frequenza è il numero di periodi contenuti in un secondo, cioè

$$f = \frac{1''}{T''} \quad (42); \qquad \text{da cui}\ T'' = \frac{1''}{f} \qquad (43)$$

Sostituendo si ha:

$$\lambda_{(km)} = 300.000\ T = \frac{300.000}{f} \quad (44) \qquad \text{od anche}\ \lambda_{(km)} \times f = 300.000 \quad (45)$$

Se l'onda si misura in metri, anche la velocità si dovrà esprimere in metri al secondo; e poichè allora essa diventa di 300.000.000 di m. al sec., così sarà

$$\lambda\ (m) \times f = 300.000.000. \qquad (46)$$

Ad es. con la frequenza di 1 milione al secondo le onde risulteranno di 300 metri $\left(= \frac{300.000.000}{1.000.000}\right)$; e con la frequenza di 100.000 saranno di 3.000 m. ecc.

La lunghezza d'onda è un elemento di grandissima importanza nella propagazione delle onde e nelle relative applicazioni pratiche; come vi sono onde adatte per le grandi comunicazioni radio, così vi sono quelle più adatte per le piccole. La lunghezza d'onda è inoltre legata alle dimensioni degli aerei, che sono tanto più sviluppati quanto più lunga è l'onda; le onde lunghe richiedono quindi aerei più ingombranti, ed anche impianti più potenti a parità di portata.

100. - INTENSITÀ DEL CAMPO ELETTRICO A DISTANZA. — A parte l'assorbimento che può derivare dall'atmosfera o dalla superficie del suolo, cioè supponendo che esso non si verifichi, l'intensità del campo elettrico che si ottiene ad una data distanza d dall'oscillatore è tanto maggiore, quanto più corta è l'onda λ. Gli altri fattori che influiscono su tale intensità del campo sono l'altezza dell'antenna h, e l'intensità della corrente oscillante i che circola nell'aereo e produce le onde. Se i è espresso in ampère e h, λ, d sono in metri e α è un coefficiente dipendente dalla forma dell'aereo (di solito $\alpha = 0,7$ circa per impianti a onde lunghe o medie), l'intensità F del campo elettrico, espressa in volta per metro, nel caso di onde lunghe e medie, in cui la corrente d'aereo è pressochè costante in molta parte dell'aereo, è data dalla formola

$$F = \frac{377\ h\ i\ \alpha}{\lambda\ d} \qquad (47)$$

Questa formola fondamentale della propagazione delle onde e. m. dovrebbe essere modificata notevolmente per tenere conto dell'assorbimento sia della superficie terrestre, che dell'atmosfera e della presenza di ostacoli, come montagne, foreste, abitati, ecc. ; ma anche lasciata così semplice può dare un' idea della importanza delle varie quantità che

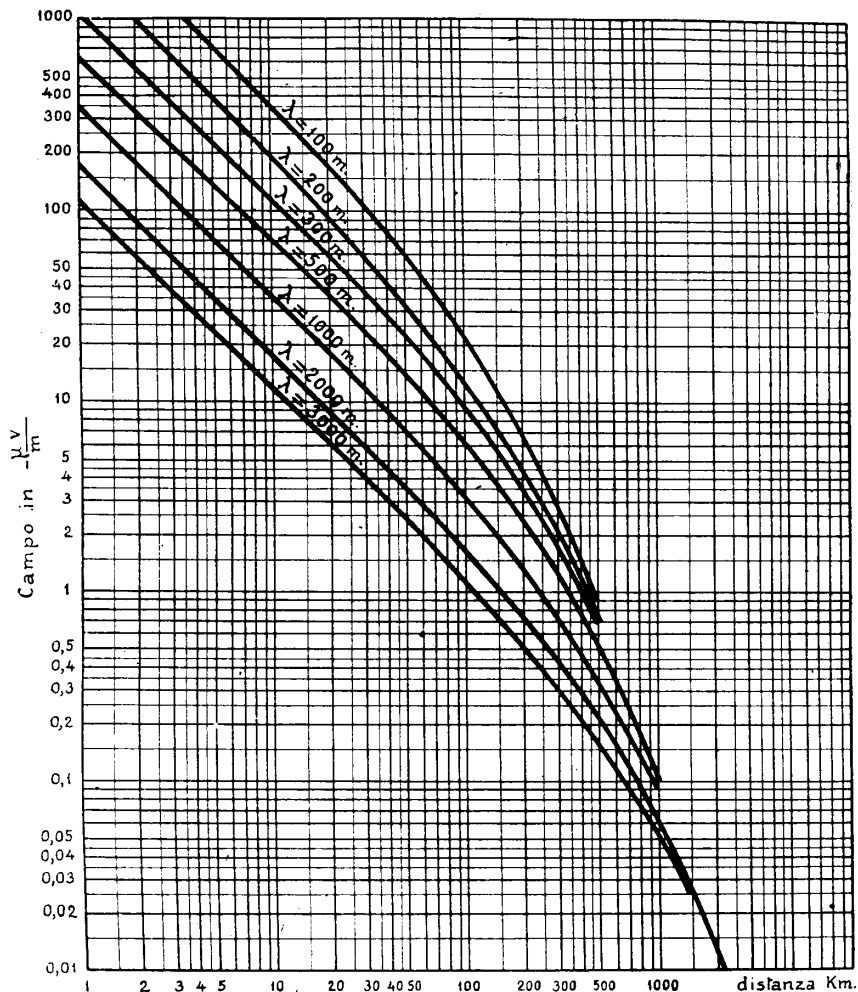



Fig. 121.

intervengono nel fenomeno della propagazione. Essa però non vale nel caso in cui la corrente d'aereo varia notevolmente nei diversi punti dell'aereo (caso delle onde corte).

Nel caso di aerei a telaio verticale occorre tener conto non dell'altezza dell'aereo, ma dell'area A (in m^2) del quadro e del numero N delle spire. Il campo prodotto alla distanza *d nel piano del telaio* è espresso dalla formula

$$F = \frac{2370 \text{ NA i}}{d \lambda^2} \qquad (48)$$

nelle stesse unità della formula precedente. Il campo diminuisce a misura che ci si sposta dal piano del telaio, fino ad annullarsi nel piano ad esso perpendicolare.

Per farsi un concetto approssimato della portata di una stazione in mare e (per approssimazione) in terreno pianeggiante, per le onde piuttosto lunghe (superiori a 100 m.), quando si conosca l'altezza h dell'aereo trasmittente e l'intensità i della corrente che lo percorre, si può ricorrere al grafico della figura 121, il quale permette anche di determinare i metri-ampere necessari per superare una certa distanza. Nel grafico le ascisse sono le distanze in chilometri, e le ordinate le intensità F del campo elettrico, espresse in microvolta per metro, alle distanze corrispondenti, e per le lunghezze d'onda segnate sulle curve. Tali intensità sono quelle risultanti quando si abbia un metro-ampere di trasmissione: per avere il campo alla distanza d, basterà moltiplicare F letto sul grafico per i metri-ampere della trasmissione. (I metri-ampere si ottengono moltiplicando l'intensità i in ampere della corrente d'aereo per l'altezza h in metri dell'aereo trasmittente).

Affinchè la ricezione sia assicurata con comuni apparati riceventi, occorre che al posto ricevente il campo elettrico raggiunga all'incirca 150 microvolta per metro, nel caso delle onde smorzate e della radiotelefonia, e circa 10 microvolta per metro, nel caso delle onde persistenti. Letto quindi nel grafico qual'è il valore del campo elettrico che un metro-ampere di trasmissione, con quella determinata onda, produce alla distanza stabilita, basterà dividere 150 (nel caso delle onde smorzate), oppure 10 (nel caso delle o. p.) per tale valore, per avere i metri-ampere occorrenti alla trasmissione. Stabilito allora i in ampere, si avrà h in metri: oppure, essendo fissato h, si avrà quanto dev'essere i sull'aereo.

Si voglia ad es. trasmettere a 200 km. con onda di 1000 metri. Dal grafico si ha all'incontro della curva $\lambda = 1000$ con la verticale 200 km. un punto che ha per ordinata 1,32 μV. per metro. Questo è dunque il campo prodotto da 1 metro-ampere su onda 1000 m. alla distanza 200 km., trascurando le cause di assorbimento. Per avere rispettivamente 150 oppure 10 μV./m. occorrono quindi: $\frac{150}{1.32} = 113,6$, oppure $\frac{10}{1,32} = 7,6$ metri-ampere.

Nel caso di terreno montagnoso, i metri-ampere ricavati dal grafico vanno circa raddoppiati, se l'altezza dell'ostacolo è dell'ordine circa di un centesimo della distanza interposta; vanno moltiplicati circa per 10, se l'altezza dell'ostacolo è dell'ordine di $^1/_{10}$ della distanza; dovrebbero moltiplicarsi per 300, se l'altezza dell'ostacolo fosse pressochè eguale alla distanza interposta fra le stazioni. Queste cifre non hanno però carattere assoluto, perche molte cause accidentali possono, caso per caso, influire in senso sia favorevole che contrario, e determinare risultati anche molto diversi da quelli teorici qui contemplati.

Capitolo III.

Produzione delle onde e.m.

101. - Produzione di oscillazioni ad alta frequenza. — Si è visto come le onde siano generate da alternative di cariche e di scariche dell' aereo, dette oscillazioni elettriche o correnti oscillanti; si è pure notato che tali oscillazioni devono essere di frequenza elevatissima (centinaia di migliaia al secondo). Si tratta ora di vedere come si possano ottenere praticamente tali oscillazioni, che sono nettamente classificabili in due tipi fondamentali e cioè:

1° smorzate;

2° persistenti o continue, modulate o non.

Un fenomeno fondamentale a questo riguardo è quello della scarica dei condensatori, e su di esso conviene soffermarsi.

102. - Scarica dei condensatori. — Se si carica un condensatore od una batteria di condensatori, in modo che sulle due armature si abbiano due quantità opposte di elettricità, e poi si uniscono le stesse armature per mezzo di un filo avvolto a spirale (fig. 122), attraverso ad essa avviene *la scarica* del condensatore e cioè, a causa della d. d. p. esistente fra le due armature, la carica positiva si sposta verso la negativa e viceversa, tendendo entrambe a neutralizzarsi. È bene esaminare da vicino tale fenomeno.

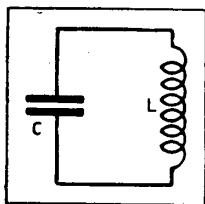



Fig. 122.

Stabilito il collegamento fra le due armature, si forma una corrente nel filo; e si genera contemporaneamente un *campo magnetico* che cresce col crescere della corrente. Entra allora in giuoco l' *induttanza*; il suo effetto è quello esaminato al nr. 58, e cioè quello di produrre una f. e. m. indotta nel circuito, la quale *contrasta l'aumento* della corrente, cosicchè questa è obbligata a crescere con lentezza, tanto maggiore, quanto maggiore è l' induttanza del circuito, dato che gli effetti magnetici sono appunto proporzionali alla induttanza. Avviene così che quando le due armature del condensatore sono arrivate allo stesso potenziale, il condensatore è bensì scarico, ma il campo magnetico non è nullo, anzi ha appena finito di crescere, ed ha raggiunto il suo massimo di intensità, come

la corrente di scarica. Data però l'uguaglianza dei potenziali delle armature, raggiunta a questo punto, la corrente non può più mantenersi e tende a cessare. A questa cessazione si oppone allora l' induttanza del circuito, perchè la f. e. m. che essa produce tende a *contrastare la diminuzione* della corrente, prolungandola per un certo tempo nella stessa direzione, e ciò a spese dell'energia accumulata nel campo magnetico. Il condensatore viene così caricato in senso opposto, per opera di questa stessa corrente.

Il fenomeno consta perciò di due parti: una in cui la corrente determinata dalla d. d. p. delle armature del condensatore produce il campo magnetico e viene da questo ritardata; l' altra in cui, nella sparizione del campo magnetico si prolunga la corrente nella stessa direzione primitiva, in modo che le due armature del condensatore risultano caricate in senso inverso al precedente. A questo punto, essendo cessata la corrente insieme col campo magnetico, il condensatore si trova in una condizione analoga a quella del primo istante, cioè con le due armature cariche ad una data d. d. p., benchè in senso opposto al precedente, e collegate tra di loro a mezzo del filo avvolto a spira. Ricomincia allora un secondo fenomeno eguale al precedente; cioè si iniziano una corrente ed un campo magnetico, il quale ultimo ritarda l' accrescimento della prima; poi raggiunta l'uguaglianza dei potenziali delle armature, il campo magnetico, mentre tende a sparire, dà luogo alla ulteriore corrente che carica il condensatore in senso inverso, vale a dire nello stesso senso in cui le armature erano caricate all' inizio del fenomeno. A questo secondo tempo ne seguono un terzo, un quarto e così via.

Si può anche dire che il fenomeno della scarica oscillante dei condensatori consiste in una trasformazione alternativa dell' energia oscillante, da *energia elettrica,* contenuta nel *condensatore* (o, per meglio dire, nel campo elettrico esistente fra le due armature per effetto della loro d. d. p.), in *energia magnetica,* contenuta nella induttanza (o, per meglio dire, nel campo magnetico che è in essa prodotto dalla corrente di scarica). Quando il condensatore è carico e la d. d. p. è massima, l' energia è tutta elettrica; quando il condensatore è scarico e la corrente è massima, l' energia è tutta magnetica; negli altri momenti, essa è in parte elettrica e in parte magnetica: la somma delle due è in ogni istante uguale a quella elettrica iniziale, diminuita delle perdite avvenute fino all' istante considerato.

103. - Smorzamento delle oscillazioni - Scintilla di scarica. — Nelle successive trasformazioni esaminate si hanno appunto delle perdite di energia, per riscaldamento dei fili, per riscaldamento del dielettrico dei condensatori, ecc.. per cui il fenomeno, alimentato dalla sola carica iniziale del condensatore, diminuisce gradatamente di intensità, finchè, dopo un certo tempo, cessa del tutto.

La scarica del condensatore consiste dunque in una vera e propria alternativa rapidissima di correnti, dirette ora in un senso, ed ora nel senso inverso, e gradatamente diminuenti di intensità.

Una tale corrente dicesi *oscillante smorzata*, essendo lo *smorzamento* la diminuzione graduale di intensità dovuta alle perdite di energia per resistenze, riscaldamenti, ecc.

In pratica, quando si vuol scaricare un condensatore, non si giunge a collegare con un filo continuo le due armature, perchè, prima che ciò avvenga, per effetto della d. d. p. si forma una scintilla fra le estremità dei fili che si avvicinano, quando esse sono giunte a piccola distanza (fig. 123): attraverso tale scintilla (che è conduttrice dell' elettricità) avviene il fenomeno della scarica. Nelle stazioni r. t. ad onde smorzate, la scarica avviene appunto normalmente attraverso una scintilla; perciò questo sistema di generazione è detto *a scintilla*.

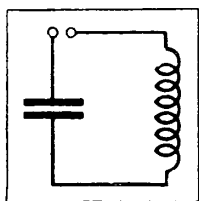



Fig. 123.

104. - OSCILLAZIONI SMORZATE DEI PENDOLI. — Un fenomeno che ha molta analogia con quello ora studiato si riscontra nelle oscillazioni dei pendoli liberi. Se un grave (fig. 124) viene sospeso ad un punto A per mezzo di un filo B, e viene poi portato nella posizione P_1 ed abbandonato, esso compie una serie di oscillazioni prima di fermarsi.

In questo fenomeno la d. d. p. iniziale del condensatore ha il suo equivalente nel *dislivello* al quale viene sollevato il corpo rispetto alla posizione di riposo (altezza MP): e la induttanza del circuito nella lunghezza del pendolo.

Anche qui, abbandonato il corpo, dopo averlo sollevato in P_1, esso si muove verso la posizione di riposo P; ma una volta giuntovi, non può fermarsi, perchè la forza viva acquistata nella discesa gli fa percorrere ancora il tratto P P_2 in salita, e cioè opposto a P P_1 e pressapoco eguale. Da P_2 il pendolo ritorna quindi in P ed in P_1 e così di seguito. La forza viva acquistata nella discesa sostituisce, nei suoi effetti, l' energia del campo magnetico prodotto dalla corrente nella scarica del condensatore. Infatti, il movimento del pendolo, dopo che esso ha raggiunta la posizione P di riposo, è dovuto alla forza viva acquistata, come il prolungamento della corrente, dopo che il condensatore si è scaricato, è dovuto all'energia del campo magnetico. La resistenza dell'aria è la causa maggiore di perdita dell'energia, che determina il graduale smorzamento del fenomeno, fino al completo riposo.

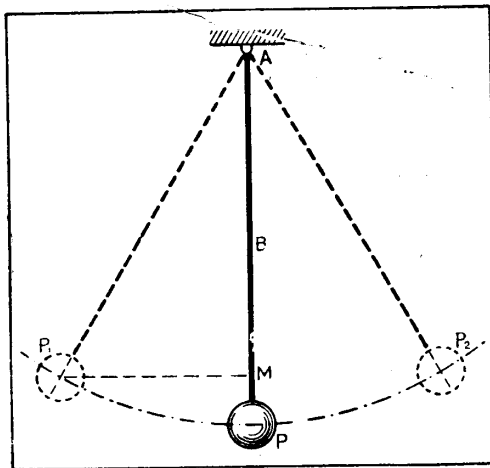



Fig. 124.

Munendo il pendolo di una punta scrivente, è possibile ricavare su di un foglio di carta il diagramma dell'oscillazione. Supposto il pendolo fermo, si faccia scorrere con moto uniforme sotto di esso, in direzione normale al piano di oscillazione ed a contatto della punta scrivente, un foglio di carta ; la punta traccerà una retta. Se ora si mantiene

fermo il foglio, dandogli una curvatura che segua quella dell'oscillazione del pendolo, e si fa oscillare quest'ultimo, si otterrà sulla carta una retta normale alla precedente, che si estenderà dalle due parti di essa, e che con la sua lunghezza rappresenta il massimo dello spostamento pendolare. Si faccia ora scorrere il foglio di carta, mantenuto opportunamente curvo, sotto il pendolo che oscilla (1). La linea che si ricava è quella della figura 125, la quale rappresenta appunto l'oscillazione smorzata del pendolo, composta di diverse oscillazioni elementari, di cui la prima ha la massima ampiezza. Se il foglio di carta si è spostato con un moto uniforme, si potrà verificare che i segmenti AC, CE ecc. sono eguali. Tutto il fenomeno, e cioè tutta la curva ABC..., durerà più o meno a lungo (ad esempio diversi secondi), in ragione dell' inerzia del pendolo e delle resistenze che si oppongono al movimento, fra le quali è qui da elencare anche quella della punta scrivente che striscia sulla carta.

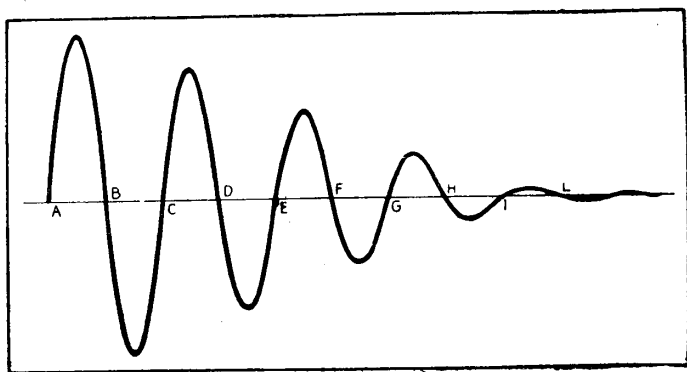



Fig. 125.

Il numero di oscillazioni che un pendolo compie in un secondo (cioè la frequenza delle oscillazioni) è tanto più grande quanto più il filo è corto; analogamente succede nella scarica dei condensatori: la frequenza è maggiore se è più piccola l' induttanza, perchè meno sentito è l'effetto ritardatore dovuto al campo magnetico (2). Un'altra analogia si può rilevare fra pendolo e circuito oscillante, e sta in ciò che la massima velocità è maggiore nei pendoli più corti, come nei circuiti oscillanti la massima corrente è maggiore nei circuiti a piccola induttanza.

105. - VIBRAZIONI SMORZATE DELLE LAMINE METALLICHE. — Un fenomeno oscillatorio di frequenza più grande che con il pendolo si può ottenere facendo vibrare una molla

---

(1) L'esperimento si può fare anche con un pendolo che porti come massa un secchiolino a imbuto che contiene della polverina colorata. Il foglio di carta sottostante non ha allora bisogno di essere mantenuto curvo.

Uno studio accurato del fenomeno elettrico può compiersi con gli oscillografi, con i quali si ottiene una curva di andamento analogo a quello del pendolo, e che rappresenta la corrente di scarica del condensatore, nel circuito di scarica.

(2) Nella fisica si calcola il periodo di un pendolo, che è dato da $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, essendo l la lunghezza del pendolo, g l'accelerazione dovuta alla gravità. Diminuendo l diminuisce T; e poichè la frequenza è l' inverso del periodo (nr. 34), diminuendo l, aumenta n.

a lamina incastrata in una parete fissa (fig. 126); la lamina prende con grande rapidità le successive posizioni W_1, W_2, W_3, W_4 ecc. Anche qui la frequenza delle oscillazioni dipende dall'inerzia della lamina, o meglio da quello che in meccanica chiamasi momento d'inerzia della lamina, il quale dipende dalla sua grossezza e dalla sua lunghezza; una lamina più corta e grossa vibra più in fretta di una lunga e sottile, e le vibrazioni sono meno ampie. Pure in questo caso, la resistenza dell'aria interviene a determinare una progressiva diminuzione di ampiezza nelle vibrazioni od oscillazioni, fino a spegnerle: anche questo fenomeno è quindi oscillante smorzato.

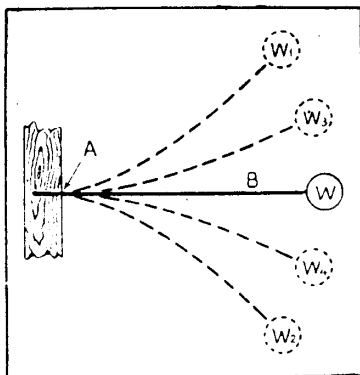



Fig. 126.

106. - Altro esempio di fenomeno oscillante. — Un altro esempio di fenomeno analogo a quelli del pendolo e della scarica di un condensatore si ha nel movimento di una massa d'acqua, in condizioni opportune. Si consideri il dispositivo formato da due bicchieri di vetro (fig. 127), uniti inferiormente e rigidamente a mezzo di un tubo piuttosto grosso, pure di vetro, munito al centro di una chiavetta. Il dispositivo è uguale a quello del livello ad acqua usato in topografia. Essendo chiusa la chiavetta, si riempia con acqua fino ad un certo livello il vaso B, lasciando vuoto quello A. Si ha allora che una certa massa d'acqua in B è ad un determinato carico rispetto ad A, che è vuoto. Se si fosse messa l'acqua in B essendo aperta la chiavetta, il liquido avrebbe invaso pure il bicchiere A, ed avrebbe assunto lo stesso livello nei due recipienti, per il principio dei vasi comunicanti.

Essendo dunque B pieno ed A vuoto, si apra rapidamente e completamente la chiavetta: l'acqua da B passerà in A, e tutta la massa di acqua entra in movimento. Data la velocità che essa assume, tale massa acquista una forza viva che fa prolungare il moto al di là dell'equilibrio (rappresentato dall'eguale livello nei due vasi), per modo che l'acqua passa quasi tutta in A, lasciando quasi vuoto B. Naturalmente questa condizione non può mantenersi, e la massa di liquido si metterà un'altra volta in movimento, per andare da A a B, vuotandosi quasi completamente A e riempiendosi di nuovo B. Così successivamente fra i due bicchieri. Si potrà però osservare che le altezze successive raggiunte dall'acqua nei due recipienti sono man mano più piccole; indizio di smorzamento del fenomeno, il quale ad un certo punto cessa, lasciando lo stesso livello nei due bicchieri. Lo smorzamento é dovuto a diverse cause: la resistenza d'attrito nel tubo e nei bicchieri: la viscosità del liquido, ed anche la resistenza delle due colonne di aria sovrastanti alla superficie libera dell'acqua nei due bicchieri, poichè queste colonne d'aria subiscono alternativamente una rarefazione (colonna liquida in discesa) ed una compressione (colonna liquida in salita), e cioè vengono messe in movimento ondoso di compressione e rarefazione.

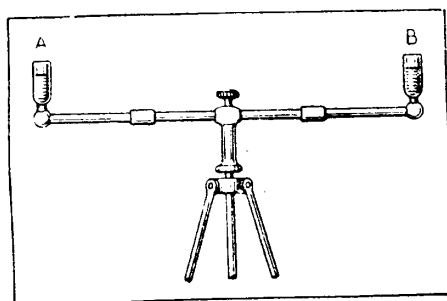



Fig. 127.

Il fenomeno sarebbe stato molto diverso se invece di aprire completamente la chiavetta, la si fosse aperta appena leggermente. In tal caso un filo d'acqua avrebbe incominciato a scorrere da B verso A ; poco alla volta il liquido si sarebbe trasferito da un bicchiere all'altro, e non appena raggiunto il livello d'equilibrio il fenomeno sarebbe cessato. Non si sarebbe avuto un movimento di va e vieni della massa d'acqua, ma solo una piccola corrente di liquido, fino alla cessazione della differenza di livello (o di carico), causa del fenomeno. La ragione di questo diverso andamento del fenomeno va ricercato nella forte resistenza incontrata dall'acqua nella chiavetta poco aperta.

107. - CARATTERISTICHE DELLE OSCILLAZIONI SMORZATE. — Un particolare di grande importanza, che si riscontra in tutti i fenomeni oscillanti smorzati ora considerati, purchè l'ampiezza iniziale non sia eccessiva, è che le oscillazioni sono sempre egualmente rapide; tanto quando esse sono molto ampie (al principio), come quando esse sono molto piccole (alla fine) : cioè *la frequenza delle oscillazioni è indipendente dalla ampiezza* o in altri termini i segmenti AC, CE, ecc. (fig. 125) sono tutti eguali fra di loro. Analogamente avviene per un'altra caratteristica del fenomeno, e cioè anche lo smorzamento delle oscillazioni si mantiene costante. Più precisamente, se si fa il rapporto fra le ampiezze di due oscillazioni consecutive, questo rapporto resta costante per tutto il fenomeno; vale a dire che se ad es. l'ampiezza della 2ª oscillazione è nel rapporto da 2 a 3 con la prima, saranno pure in tale rapporto la 3ª rispetto alla 2ª, la 5ª rispetto alla 4ª e così di seguito. Tale rapporto costante dicesi appunto *fattore di smorzamento*. In pratica si usa caratterizzare lo smorzamento col cosidetto *decremento della oscillazione*, che è il logaritmo del sopradetto fattore di smorzamento (1).

Concludendo, nelle oscillazioni smorzate sono da considerare due fattori importanti, che si mantengono costanti per tutta la durata della oscillazione, e sono pure costanti qualunque sia l'ampiezza della oscillazione (2). Essi sono :

1° *la frequenza delle oscillazioni*, cioè il numero di oscillazioni che avvengono in un secondo ;

2° *il decremento delle oscillazioni*, che rappresenta la rapidità con cui le oscillazioni si spengono.

108. - OSCILLAZIONI NON SMORZATE. — Il fenomeno della scarica dei condensatori (come pure quelli dell'oscillazione del pendolo, della vibrazione di una lamina, del movimento dell'acqua nei bicchieri comunicanti) è stato fin qui considerato come dovuto ad una sola carica iniziale o ad un solo impulso. Il fenomeno, come si vedrà meglio in seguito, può essere rapidissimo, ed il circuito di scarica può quindi cessare quasi immediatamente di esser sede di oscillazione; nè più lo sarà, se non dopo che sia data una successiva carica al condensatore.

---

(1) La formula del decremento è :

$$d = \log_e \frac{I_2}{I_1} \qquad (49)$$

(2) In realtà la costanza del decremento non è assoluta, specialmente nei circuiti a scintilla; la costanza della frequenza è più marcata nelle oscillazioni elettriche, mentre in quelle meccaniche si verifica solo quando le ampiezze sono molto piccole.

Nelle condizioni in cui si opera con le stazioni radio a scintilla, per quanto alto si faccia il numero di cariche al secondo, non si raggiunge mai (eccetto in condizioni specialissime) che due consecutive scariche si colleghino l'una all'altra; esiste quindi di solito un intervallo di tempo notevole rispetto a quello per cui dura il fenomeno di scarica, e durante tale intervallo il circuito è a riposo. La successione dei diversi gruppi di oscillazioni può rappresentarsi come nella figura 128.

Esistono però dei mezzi appropriati con i quali si può far in modo che le cariche del condensatore si susseguano non appena compiute le scariche, per modo che mai il circuito sia in riposo; meglio ancora, si può fare in modo che ad ogni alternativa di movimento della massa elettrica da un'armatura all'altra, sia fornita una nuova carica al condensatore, la quale compensi le perdite che si sono avute, per resistenza, per irradiazione ecc. nella precedente alternativa, nello stesso

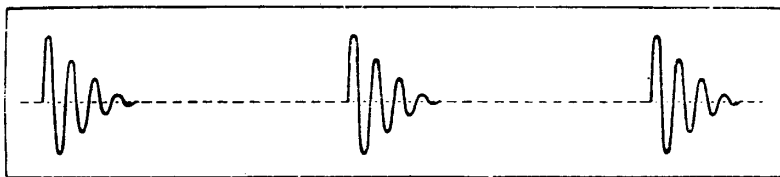



Fig. 128.

modo come nei pendoli, impiegati negli orologi a pendolo, il meccanismo della molla (o dei pesi) e dell'àncora permette di compensare ad ogni oscillazione, ed a spese dell'energia della molla o della discesa dei pesi, le perdite per resistenza (attrito di fulcri, resistenza dell'aria), incontrate in ogni oscillazione, e di ottenere quindi una continua successione di oscillazioni di ampiezza costante.

Con mezzi analoghi, ma di natura elettrica, si può dunque ottenere che il circuito di scarica sia sede di una corrente oscillante, di ampiezza costante, come se non vi fosse smorzamento; tale oscillazione si dirà *continua* o *persistente,* e cesserà soltanto quando s' interrompe il meccanismo di carica del condensatore.

Gli artifici elettrici mediante i quali si riesce ad ottenere la ricarica del condensatore ad ogni periodo dell'oscillazione possono essere di varia natura; ma i più comodi sono forniti dalle valvole elettroniche, di cui si dirà al capitolo IX. Mediante questi artifici la corrente oscillante generata, anzichè avere la forma indicata nella fig. 126, assume quella della fig. 128.

CAPITOLO IV.

Circuiti oscillanti.

109. - CIRCUITI OSCILLANTI. — Nella fig. 129 (che è la ripetizione della fig. 122) è rappresentato il circuito di scarica di un condensatore C, di cui le armature sono congiunte per mezzo di una spirale di induttanza L. Tale circuito può diventare sede di una corrente oscillante quando si carichi il condensatore, e lo si faccia quindi scaricare attraverso alla induttanza L. Poichè qualunque circuito offre sempre un po' di resistenza, così esso si può rappresentare meglio

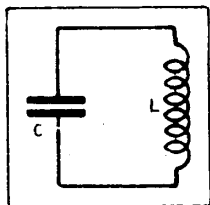



Fig. 129.

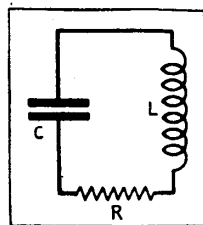



Fig. 130.

con la fig. 130, in cui R rappresenta la resistenza. Dato che un circuito così fatto è sede di corrente oscillante, così gli si è attribuita la denominazione di *circuito oscillante*.

110. - PERIODO, FREQUENZA, LUNGHEZZA DELL'ONDA. — Si è già detto (nr. 102 e 107) come influiscano l'induttanza e la resistenza sulle due caratteristiche (frequenza e decremento) delle oscillazioni.

Ora una capacità più grande richiede un maggior tempo per la carica e la scarica del condensatore, e quindi l' aumento di capacità produce un aumento nella durata della oscillazione, cioè una diminuzione nella frequenza.

Si può dunque concludere che tanto l'aumento di *capacità* (il quale accresce il tempo necessario per la carica e la scarica), come l' aumento di *induttanza* (il

quale accresce l'effetto ritardatore del campo magnetico), contribuiscono ad aumentare la durata delle oscillazioni, (che è di solito chiamata *periodo della oscillazione*) e di conseguenza a diminuire la *frequenza*.

Dallo studio di questo fenomeno si è potuto dedurre la legge, detta di Lord Kelvin (1), che lo governa, e che si esprime come segue: « *Il periodo delle oscillazioni è misurato* (in milionesimi di secondo) *dalla radice quadrata del prodotto della capacità per l'induttanza del circuito* (misurate in microfarad e microhenry, rispettivamente), *moltiplicata per il numero fisso* $2\pi = 6{,}28$. E cioè:

$$T = \text{periodo (in milionesimi di secondo)} = \\ = 6{,}28 \times \sqrt{\underset{\text{(microfarad)}}{\text{capacità}} \times \underset{\text{(microhenry)}}{\text{induttanza}}} = 2\,\pi \sqrt{L\ C}. \qquad (50)$$

La frequenza f, cioè il numero dei periodi al secondo (2), si ottiene facendo l'inverso del periodo espresso in secondi:

$$f = \frac{1.000.000}{T}$$

Ad esempio, in un circuito in cui la capacità è 1 microfarad e l'induttanza 1 microhenry, il periodo è:

$$T = 2\,\pi \sqrt{1 \times 1} = 6{,}28 \text{ milionesimi di secondo} = \frac{6{,}28}{1.000.000} \text{ di secondo}$$

e per conseguenza la frequenza è:

$$f = \frac{1.000.000}{6{,}28} = 160.000 \text{ circa periodi al secondo.}$$

Conosciuta la frequenza, con la regola data al nr. 99 si può dedurre la lunghezza di onda; basta dividere 300.000.000 per la frequenza, oppure moltiplicare per 300 il periodo (in milionesimi di secondo). Si ha quindi:

$$\text{lunghezza d'onda (metri)} = 300 \times 6{,}28 \times \sqrt{\text{induttanza } (\mu\text{H.}) \times \text{capacità } (\mu\text{F.})}$$

cioè:

$$\lambda = 1885 \sqrt{L\ C} \qquad (51)$$

---

(1) WILLIAM THOMSON LORD KELVIN (Belfast, 26 giugno 1824 - Londra, 17 dicembre 1907).
(2) Vedi anche nr. 99.

Nel circuito sopra considerato, essendo L = 1 e C = 1 si ha:

$$\lambda = 1885 \times \sqrt{1 \times 1} = 1885 \text{ metri.}$$

Se si esprime C in millesimi di microfarad e L ancora in microhenry, allora:

$$\lambda = \frac{1885}{\sqrt{1000}} \sqrt{L\,(\mu H.) \times C\,(m\mu F.)} = \frac{1885}{31{,}6} \sqrt{L\ C} = \text{circa } 60 \sqrt{L C} \qquad (52)$$

111. - ENERGIA E POTENZA NEI CIRCUITI OSCILLANTI. — Allorchè si carica il condensatore di un circuito oscillante ad una certa d. d. p., si accumula su di esso (o meglio nel suo dielettrico) una certa energia, che è poi quella stessa che mantiene le oscillazioni che costituiscono la scarica del condensatore. Analogamente, quando un pendolo viene spostato dalla sua posizione di riposo, gli si fornisce una certa energia, che è quella stessa che dà origine alle oscillazioni del pendolo, allorchè esso é lasciato libero.

L'energia di queste oscillazioni sarà grande, se il pendolo sarà pesante e se sarà grande il dislivello al quale esso viene sollevato rispetto alla sua posizione di riposo.

Così avviene pure per l'energia accumulata sui condensatori: essa sarà grande, se grande sarà la carica e grande il dislivello elettrico al quale vengono portate le due armature. L'energia del condensatore carico, come già detto al nr. 46, è appunto misurata dal prodotto della carica di un'armatura, per la metà della d. d. p. esistente fra le due armature.

Ora la carica di un'armatura è misurata dal prodotto della capacità per la d. d. p. fra le armature; l'energia è quindi proporzionale alla capacità, e doppiamente proporzionale alla d. d. p., e cioè è proporzionale al quadrato di questa:

energia = carica × $^1/_2$ (d. d. p. tra le armature):

carica = capacità × (d. d. p. tra le armature);

quindi

energia = capacità × $^1/_2$ (d. d. p. tra le armature)^2 e cioè:

$$J = {}^1/_2\ Q\ V$$

$$Q = C.\ V$$

$$J = {}^1/_2\ C\ V^2 \qquad (53)$$

se con Q (coulomb) si indica la carica, con C (farad) la capacità, e con V (volta) la d. d. p., e con J (joule) l'energia.

Nei complessi ad oscillazioni smorzate i condensatori dei circuiti oscillanti vengono caricati un numero notevole di volte al secondo, che varia da 100 a 2000 circa, e scaricati un egual numero di volte. L'energia che viene fornita al circuito ad ogni secondo

viene detta *potenza della carica*, ed è evidentemente uguale all'energia fornita in ciascuna carica, moltiplicata pel numero delle cariche al secondo; quindi: potenza della carica = capacità × $^1/_2$ (d. d. p. tra le armature)^2 × numero di scariche al secondo, e cioè:

$$W = n\,J = \frac{1}{2}\,n\,C\,V^2, \qquad (54)$$

se con *n* si indica il numero delle cariche o delle scariche al minuto secondo.

La potenza della scarica risulta misurata in watt, quando la capacità sia misurata in microfarad e la d. d. p. in chilovolta (migliaia di volta).

Ad esempio, se il circuito già considerato, con capacità 1 microfarad, viene caricato 500 volte al secondo, con d. d. p. 10000 volta (10 chilovolta), la potenza della scarica è = 1 (microfarad) × $^1/_2$ 10^2 (chilovolta) × 500 (scariche al secondo) = 1 × $^{100}/_2$ × 500 = 25000 watt = 25 chilowatt.

Un circuito avente capacità 1 microfarad può fornire quindi una potenza notevole (25 kw), anche con d. d. p. non troppo forte. Nelle stazioni di piccola potenza sono usati condensatori molto più piccoli, di appena qualche centesimo di microfarad.

112. - Influenza della resistenza, della capacità e dell' induttanza sullo smorzamento. — La resistenza del circuito, quando è molto grande, può impedire il fenomeno delle oscillazioni come è detto al nr. 106, poichè tutta l'energia viene da essa consumata nella prima fase del fenomeno, ed il condensatore non arriva a caricarsi in senso opposto al precedente; il fenomeno cessa subito. Un fatto analogo si può verificare nell'esempio idraulico descritto al nr. 107, ed anche con un pendolo, immergendo quest'ultimo in un liquido molto denso. Se la densità è abbastanza grande, il pendolo arriva alla posizione di riposo senza velocità, e quindi si ferma, senza dar luogo a nessuna oscillazione. Una resistenza eccessiva può dunque impedire le oscillazioni; ma ad ogni modo, se anche non giunge a questo, essa aumenta sempre lo smorzamento. Lo stesso fatto è prodotto dalla capacità, mentre al contrario una grande induttanza nel circuito diminuisce lo smorzamento.

Infatti l' induttanza ha l'effetto della inerzia, la quale appunto si oppone al fermarsi dei corpi in movimento: essa deve quindi ritardare il definitivo arresto della oscillazione. La capacità invece aumenta la corrente oscillante, aumenta quindi l'entità delle perdite che si verificano nelle oscillazioni, e perciò favorisce il rapido arresto del fenomeno.

Dallo studio di questi fenomeni, si è dedotto una formula che lega il decremento con le costanti dei circuiti: essa dice che il decremento si ottiene moltiplicando la resistenza per la radice quadrata del quoziente fra la capacità e l' induttanza, e per il numero fisso $\pi = 3,1416$ cioè:

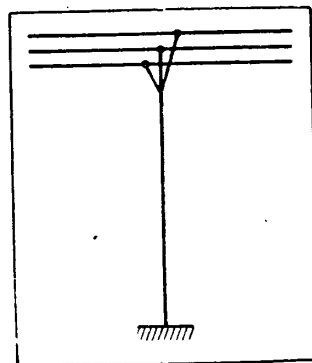
$$d = \text{decremento} = 3,14 \times R\sqrt{\frac{C}{L}} \qquad (55)$$

La resistenza deve essere misurata in ohm, la capacità in microfarad e l'induttanza in microhenry. Ad esempio un circuito avente capacità 0,030 microfarad, induttanza 12 microhenry e resistenza 5 ohm avrà un decremento

$$d = 3,14 \times 1 \times \sqrt{\frac{0,030}{12}} = 0,157$$

113. - CIRCUITI OSCILLANTI APERTI. - Il circuito oscillante, considerato al nr. 109 vien detto *chiuso* perchè comprende un condensatore con piccolo spessore di dielettrico, cosicchè, ad eccezione dell'interruzione dovuta a tale spessore, esso si presenta come un circuito metallico completamente chiuso su se stesso. Vi sono però altri circuiti oscillanti detti *aperti*, perchè in essi il dielettrico della capacità è talmente grande, da dare l'apparenza di un circuito metallico avente le estremità isolate e distanti, e cioè aperto. La fig. 131 rappresenta uno di tali circuiti, costituito da un filo isolato verticale, connesso da una parte con un insieme di fili isolati nell'aria e dall'altra alla terra.

Fig. 131.

La terra da una parte e i fili isolati dall'altra si possono considerare come le due armature di un condensatore, collegate dal filo verticale, il quale possiede una certa induttanza ed anche una certa resistenza; si ha così un *circuito oscillante aperto* che si chiama anche aereo rt. ad antenna o anche solo aereo rt.

114. — IRRADIAMENTO DEI CIRCUITI. — La proprietà che distingue i due tipi di circuiti oscillanti e che li rende ugualmente utili in radiotelegrafia è l'*irradiamento*, cioè la maggiore o minore facilità di produrre delle onde elettromagnetiche, ossia di irradiare l'energia sotto forma di onde. In un circuito chiuso il campo magnetico è concentrato quasi tutto nella spirale che costituisce l'induttanza ed il campo elettrico quasi tutto nel dielettrico dei condensatori, cosicchè fuori del circuito, appena a poca distanza da esso, gli effetti non sono quasi più sentiti: il circuito cioè è poco irradiante. Al contrario, il campo elettrico di un circuito aperto (fig. 131) è molto esteso, perchè parte dai fili superiori per arrivare a terra, e così lo è pure il campo magnetico, che occupa tutto lo spazio sotto l'aereo: l'effetto dei due campi si fa quindi sentire in un vasto spazio, tanto più vasto quanto maggiore è l'altezza dall'aereo: il circuito è quindi molto irradiante. Di conseguenza i circuiti chiusi servono specialmente per generare e mantenere le correnti oscillanti, evitandone l'irradiamento, il quale, essendo una vera perdita di energia, determinerebbe un aumento di smorzamento. I circuiti aperti servono invece specialmente per l'irradiamento dell'energia, cioè per generare le onde.

Anche i circuiti chiusi tuttavia irradiano dell' energia, e possono servire, per quanto meno bene degli aerei aperti, alla emissione. Ciò specialmente quando si considerino oscillazioni ad altissime frequenze, corrispondenti cioè ad onde corte, perchè l' irradiamento cresce con l' aumentare della frequenza della c. o., vale a dire con il diminuire della lunghezza dell' onda emessa.

115. - RESISTENZA DI IRRADIAZIONE. — Le proprietà radiative di un circuito sono bene rappresentate dalla cosiddetta resistenza d' irradiazione. Si indica con questo nome il rapporto fra la potenza irradiata dal circuito ed il quadrato dell' intensità della corrente che lo percorre. La resistenza di irradiamento rappresenta quindi, analogamente alla resistenza ohmica, la potenza perduta da un circuito quando è percorso da corrente di 1 ampere.

La resistenza d' irradiazione per un aereo ad antenna eccitato con onde lunghe o medie (maggiori di 4 volte l'altezza dell'aereo) è misurata in ohm della formula:

$$R_i = 1600 \left(\frac{h \quad \alpha}{\lambda} \right)^2 \qquad (56)$$

in cui h è l'altezza dell'aereo, in metri, α il *fattore di forma* (nr. 100), variabile con la forma dell'aereo, che si aggira intorno a 0.5 $\div$ 0,8; e λ la lunghezza d'onda in metri.

Con le onde corte l'aereo può essere anche molto maggiore di un quarto dell'onda da emettere, ed in tal caso la formula (56) non è più applicabile, poichè la resistenza d' irradiazione dipende in modo complicato dal rapporto R/λ.

Per circuiti costituiti da una capacità collegata ad una bobina di induttanza di area A metri quadrati e con N spire, essendo λ l' onda in metri, la resistenza di irradiazione è data in ohm da:

$$R_i = 31200 \frac{N^2 \ A^2}{\lambda^4} \qquad (57)$$

Quando la bobina è fatta di poche spire verticali di grandi dimensioni, allora essa si chiama più propriamente telaio, e costituisce un tipo di aereo specialmente usato per la ricezione, ma talvolta anche per la trasmissione.

116. - ONDA FONDAMENTALE DELL' AEREO R. T. AD ANTENNA. - Si indica con tal nome l'onda sulla quale oscilla l'aereo, quando esso non ha nè induttanza nè capacità aggiunta, ed ha un estremo collegato a terra. Tale onda dipende quindi solo dalla capacità e dalla induttanza proprie dall'aereo, cioè dalla lunghezza dei fili, dal loro numero e disposizione, e dalla loro altezza da terra.

Il fattore che più influisce sulla lunghezza d' onda fondamentale è però la *lunghezza dell' aereo*, intendendosi con ciò la lunghezza di ciascuno dei fili componenti. Negli aerei ad un solo filo, od a pochi fili vicini e paralleli, la *lunghezza d' onda fondamentale* è poco superiore a *quattro volte la lunghezza dell'aereo*; è invece notevolmente superiore a quattro volte negli aerei a T ed in quelli ad ombrello di cui si dirà al nr. 124. Se l' aereo viene isolato dalla terra, l' onda propria si riduce alla metà circa di quella fondamentale.

117. - MODI DI VARIARE LA LUNGHEZZA D' ONDA. — Si è detto che la frequenza di un circuito oscillante e la lunghezza d' onda dipendono essenzialmente dalla capacità e dalla induttanza del circuito stesso; quindi volendo variare tale frequenza o lunghezza d' onda si deve agire sulle suddette caratteristiche e precisamente, per aumentare la lunghezza d' onda bisogna aumentare l' una o l' altra o entrambe le caratteristiche ora dette. Il contrario si deve fare per aumentare la frequenza (che equivale a diminuire la lunghezza d' onda).

Per aumentare la capacità in un circuito oscillante chiuso occorre aumentare il numero dei condensatori in parallelo, oppure diminuire lo spessore del dielettrico od aumentare la superficie delle armature.

In un circuito oscillante aperto, per aumentare la capacità bisogna aumentare il numero o la lunghezza dei fili che lo costituiscono e, potendo, diminuire l' altezza dei fili stessi da terra: ciò però diminuisce l' irradiamento, e generalmente non con-

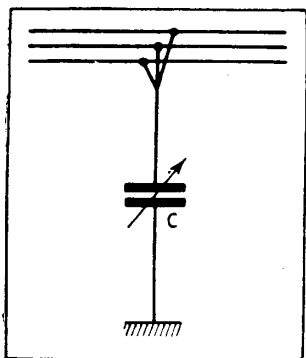



Fig. 132.

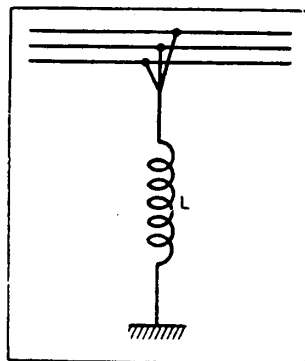



Fig. 133.

viene. Inoltre, in pratica l' aereo è sostenuto da antenne alte e con attacchi ben stabiliti; sarebbe perciò noioso il dovere continuamente variare il numero dei fili o la loro lunghezza, cosicchè in genere la capacità degli aerei non si modifica, e volendo aumentare la lunghezza d' onda si preferisce, perchè più facile, aumentare la induttanza. È invece relativamente facile diminuire la capacità dell'aereo: infatti, poichè mettendo un condensatore in serie con un altro, se ne diminuisce la capacità (vedi nr. 44), così per ridurre la capacità di un aereo basterà inserire tra esso e la terra un condensatore che di solito sarà variabile (fig. 132). Inoltre la capacità risultante di due capacità in serie è sempre minore della più piccola delle due (nr. 44); cosicchè quanto più piccola è la capacità aggiunta, e tanto più piccola sarà la capacità risultante. Per ottenere una grande diminuzione di capacità, si dovrà perciò inserire un condensatore di piccola capacità.

L' induttanza di un circuito chiuso si aumenta aumentando il numero o l' area delle spire incluse nel circuito, e facendole più vicine fra di loro.

In un circuito aperto, (aereo r. t.), per aumentare l' induttanza si potrebbero allungare i fili; ma poichè aggiungendo una induttanza in serie con un' altra se ne ottiene una maggiore (vedi nr. 60), così per *aumentare l' induttanza dell'aereo* basta *aggiungere in serie una spirale,* comprendente un numero più o meno grande di spire più o meno ampie e più o meno vicine, secondo l'aumento che si vuol ottenere (fig. 133).

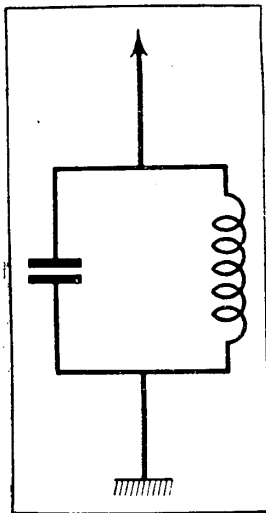



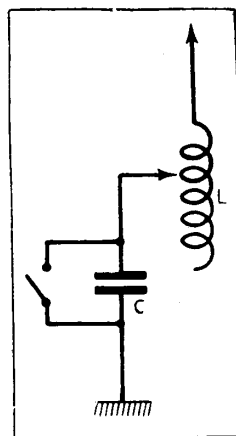
Fig. 134.

Volendo diminuire l'induttanza di un aereo si dovrebbe accorciare il filo o aggiungere altre induttanze in parallelo, cioè aumentare il numero dei fili; si troverebbe cioè la stessa difficoltà notata per aumentare la capacità; perciò, volendo diminuire la lunghezza d'onda, si preferisce diminuire la capacità, anzichè diminuire l' induttanza.

In conclusione si può di massima stabilire: per *aumentare la lunghezza d'onda di un aereo se ne aumenta l' induttanza,* aggiungendo una induttanza in serie; per *diminuire la lunghezza d'onda se ne diminuisce la capacità,* mettendo un condensatore in serie. L'induttanza aggiunta ed il condensatore aggiunto d'aereo devono essere perciò di tipo variabile, allo scopo di permettere comodi e rapidi cambiamenti nella lunghezza d'onda.

È da notare che l' inserzione di un' induttanza sull'aereo ne diminuisce la efficienza, specialmente nella trasmissione, perchè ne diminuisce l' irradiamento, pel fatto che ne aumenta la lunghezza d'onda, mentre lascia inalterata l'altezza d'aereo (formola 56). In trasmissione non conviene di massima aumentare la lunghezza d'onda dell'aereo oltre il doppio del suo valore naturale o fondamentale. Al contrario l'aggiunta di una capacità, accorciando l'onda, ne aumenta le proprietà radiative. L'efficienza dell'aereo aumenta però solo se il condensatore non introduce per suo conto delle perdite di energia, che annullino il vantaggio dell'accorciamento dell'onda. Con l'aggiunta d' induttanza si può aumentare la lunghezza d'onda di un aereo anche di molto oltre al doppio suddetto, e ciò può essere conveniente specialmente in ricezione. Con l' inserzione di capacità non si può invece materialmente diminuire la lunghezza d'onda al disotto della metà del valore primitivo; isolando l'aereo, e cioè inserendo una capacità zero verso terra, l'onda dell'aereo si riduce infatti alla metà del suo valore fondamentale.

Fig. 135.

In pratica poi non conviene neppure giungere a tale limite. Così con un aereo che da solo, cioè senza aggiunta di capacità o di induttanza, ha una *lunghezza d'onda*

fondamentale ad es. di 600 metri, non converrà in genere, in trasmissione, aumentare l'onda oltre ai 1200 ÷ 1500 metri, nè diminuirla al disotto di 360 metri; sarebbe poi impossibile diminuirla al disotto dei 300 metri.

Nella ricezione permane l' impossibilità di accorciare l'onda al disotto della metà del suo valore fondamentale, ma si può con l'aggiunta di induttanza superare anche di molto il doppio di tale valore, senza grandi inconvenienti: la diminuzione di smorzamento prodotta dalla maggiore induttanza (nr. 112) compensa in parte la diminuzione della efficienza della ricezione, che del resto si può compensare in ogni caso con l'amplificazione a mezzo di valvole elettroniche, come si vedrà in seguito.

Così un aereo avente per fondamentale l'onda di 600 metri può impiegarsi convenientemente nella ricezione, aggiungendo capacità o induttanze, ad es. per onde da 330 a 20.000 metri, mentre per la trasmissione non potrebbe utilmente impiegarsi che per onde da 360 a 1500 metri all' incirca.

Un modo molto comodo per variare la lunghezza d'onda degli aerei specialmente in ricezione consiste nell'aggiungere un condensatore variabile, in parallelo con una induttanza fissa o variabile (fig. 134). In questo modo si possono ottenere variazioni ampie; ma occorre tener presente che con simile dispositivo la frequenza e l'onda propria dell'aereo assumono due valori diversi anzichè uno solo, e precisamente uno di tali valori è maggiore di quello che si avrebbe se non ci fosse la capacità, e l' altro è minore di quello che si avrebbe se non ci fosse l' induttanza. In genere uno solo di essi è utilizzato.

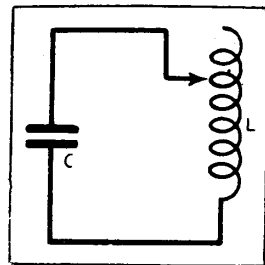



Fig. 136.

118. - Circuiti con variazione di onda. — La fig. 135 mostra un aereo in cui si può variare sia la capacità che la induttanza in serie, in modo da accorciare o da allungare rapidamente l'onda; un' interruttore permette poi di mettere il condensatore in corto circuito, e quindi di dare all'onda la massima lunghezza.

Per *accorciare l'onda* si deve *escludere tutta l' induttanza* aggiunta, e quindi, tolto il corto circuito al condensatore, cominciare a *diminuire la capacità* di esso; per *allungare l'onda,* si deve *mettere il condensatore* in corto circuito, e quindi *inserire* successivamente della *induttanza* crescente.

La fig. 136 rappresenta un circuito oscillante chiuso, ad induttanza variabile; esso avrà quindi una frequenza variabile. Per variarne la lunghezza d'onda si agirà come si è detto per l'aereo, tenendo però presente che la capacità non potrà essere messa in corto, perchè il circuito cesserebbe allora d'essere oscillante, ciò che non avviene nel caso di un circuito oscillante aperto, poichè in esso esiste sempre la capacità propria o distribuita dell'aereo.

119. - RESISTENZA DEI CIRCUITI OSCILLANTI - EFFETTO DI PELLE. — La resistenza elettrica dei circuiti oscillanti differisce notevolmente da quella semplicemente ohmica che si considera nei circuiti percorsi da c. c. o da c. a. a bassa frequenza, e ciò perchè nei circuiti oscillanti esistono cause di perdite di energia che possono essere molto ingenti per effetto della elevata frequenza, mentre sono trascurabili alle basse frequenze. Fra queste cause si possono annoverare: la resistenza di irradiazione esaminata al nr. 115; le perdite nei dielettrici (isteresi dielettrica); le perdite per correnti parassite nelle masse metalliche (correnti di Foucault); le perdite per induzione nei circuiti vicini, e finalmente le perdite per effetto di pelle, dovute al fatto che le correnti oscillanti non penetrano molto nell' interno dei conduttori, ma si tengono su un sottilissimo strato superficiale verso l'esterno, come se la parte interna non esistesse (per tale motivo il filo di molti aerei r. t. ha un'anima interna non conduttiva, ad es. di canapa). Tale strato superficiale poi è tanto più sottile quanto più elevata è la frequenza.

Di quanto sopra occorre tener conto nella costruzione degli aerei, ed in genere dei circuiti oscillanti, per evitare le perdite di energia in riscaldamento dei fili, che altrimenti si potranno verificare. Ad es., per determinare un riscaldamento nocivo in un filo di rame pieno, di 4 $^{m}/_{m}$ di diametro, occorrono almeno 100 ampere di c. c.; mentre con c. o. su 300 metri di lunghezza d'onda sono sufficenti 30 ampere.

Nelle spirali si ha poi un altro effetto di pelle, che tende a mantenere la corrente solo sulla superfice dei fili rivolta verso l'esterno della spirale, e ciò fa aumentare ancora la resistenza delle bobine.

Queste varie cause di perdita di energia o di aumento di resistenza influiscono in modo notevole nelle onde corte, come si vedrà più avanti.

Capitolo V.

L'aereo radiotelegrafico.

120. - Funzione dell'aereo. — L' aereo è l'organo radiante o captatore e può essere ad antenna o aperto, e a telaio o chiuso. Aerei speciali (tipo Beverage, e aerei a riflettore) sono usati per scopi speciali: essi si possono però sempre riportare ai due tipi sopradetti. L' aereo può servire sia per creare quelle speciali perturbazioni nell' etere chiamate onde elettromagnetiche, sia per raccoglierle. Nel primo caso esso deve essere percorso dalla corrente oscillante che genera le onde e. m.; nel secondo caso sono le onde e. m. dello spazio che producono in esso delle correnti oscillanti, le quali, attraverso gli apparecchi di ricezione, vanno poi ad influenzare i telefoni ricevitori. Lo stesso aereo può servire per l' uno e per l' altro scopo; naturalmente esso deve perciò essere connesso o agli apparecchi di trasmissione od a quelli di ricezione, e può fare o l'una o l'altra operazione, ma non tutte e due contemporaneamente, salvo in casi e con dispositivi speciali. Nelle stazioni di grande potenza si usano generalmente due aerei indipendenti, uno per la trasmissione ed uno per la ricezione, restando queste due operazioni successive e non simultanee; il più spesso però l' aereo ricevente è tenuto in località lontana dall'aereo trasmittente, e le due località sono collegate da un filo telefonico o telegrafico; in questo caso la trasmissione e la ricezione sono operazioni completamente indipendenti fra di loro, e si possono compiere anche simultaneamente con certe cautele. In una stessa località si possono poi ricevere e trasmettere simultaneamente varie comunicazioni su diversi aerei, ed anche sullo stesso aereo, quando però le onde impiegate siano abbastanza diverse fra loro.

121. - Requisiti degli aerei. — La qualità essenziale che si richiede all' aereo è quella di essere un buon irradiatore di onde; esso sarà allora anche un buon ricevitore di onde. Deve poi avere dimensioni elettriche appropriate alla lunghezza d'onda che deve emettere o ricevere, e deve inoltre essere più che possibile semplice, e di manutenzione economica e facile.

La proprietà di essere un buon irradiatore, e quindi un buon ricevitore, dipende, per gli aerei ad antenna, in gran parte dall' altezza media delle sue parti

più elevate. Si è infatti constatato che, raddoppiando l'altezza dell' aereo trasmittente, si raddoppia all' incirca anche la forza elettrica dei segnali alla stazione ricevente, senza bisogno di aumentare la potenza della stazione che trasmette. Un aumento altrettanto sentito si ha se, senza toccare l'aereo trasmittente, si raddoppia l' altezza di quello ricevente (vedi nr. 110).

Per gli aerei a telaio la proprietà radiativa dipende dalla loro area complessiva, cioè dall' area di una spira moltiplicata per il numero delle spire. Un numero elevato di spire può però aumentare fortemente la resistenza elettrica, se non si osservano speciali precauzioni, quali, ad es. una buona spaziatura fra le spire ed un buon isolamento delle medesime. Occorre a questo scopo ricordare quanto si disse al nr. 119.

Al nr. 117 si è poi notato che un aereo è più efficiente, come irradiatore, quando non ha nè capacità nè induttanze aggiunte, e che, ad ogni modo, non conviene nè allungare nè accorciare troppo la lunghezza d' onda di un aereo, mediante l' inserzione di induttanze o di capacità. Ciò è specialmente vero per la trasmissione, per la quale si può ancora osservare che spesso si ritiene preferibile allungare l'onda mediante aggiunta di induttanza, che non accorciarla mediante inserzione di capacità. La ragicne di ciò va ricercata nel fatto che, a causa delle alte tensioni cui sarebbe sottoposto un condensatore inserito su un aereo trasmittente, si potrebbero avere delle notevoli perdite di energia per il riscaldamento del dielettrico.

Inoltre un condensatore sottoposto ad alte tensioni è sempre più soggetto a guasti che non una induttanza, ed è anche molto più costoso. Se però si opera con condensatori adatti, l'aggiunta di essi, producendo un accorciamento dell'onda, ne consegue un aumento della resistenza d' irradiazione, e quindi (formula 56) nella potenza irradiata, a parità di corrente sull'aereo.

Nella ricezione, in cui si hanno sempre tensioni piccolissime, non si verifica nessun inconveniente ad aggiungere capacità: si possono quindi vantaggiosamente usare dei condensatori per accorciare l'onda propria dell'aereo, come già si è visto.

122. - LUNGHEZZA DELL' ONDA FONDAMENTALE. — L'onda propria di un aereo sul quale non siano inserite nè capacità nè induttanza, e che abbia un estremo collegato alla terra, è stata chiamata *onda fondamentale dell'aereo* (nr. 116). Essa dipende, come si disse, dalla sua capacità e dalla sua induttanza. Essendo però sia l'una che l'altra distribuite lungo il filo, anzichè concentrate, il valore della lunghezza d' onda è dato dalla formula

$$\lambda_0 = 1{,}440 \sqrt{L_0 C_0}, \qquad (58)$$

mentre con un circuito oscillante chiuso con induttanza L_0 e capacità C_0, l'onda sarebbe data da (vedi nr. 111)

$$\lambda_0 = 1,884 \sqrt{L_0 C_0}.$$

In queste formole λ_0 è in metri, C_0 in $\mu\mu$F. e L_0 in μH. Se si vuole invece misurare λ_0 in metri, C in millesimi di μF e L in μH, si ha, nel caso dell'aereo:

$$\lambda_0 = 12 \sqrt{10} \sqrt{L_0 C_0} = \text{circa } 38 \sqrt{L_0 C_0} \qquad (59)$$

e nel caso del circuito chiuso:

$$\lambda_0 = 6 \pi \sqrt{10} \sqrt{L_0 C_0} = \text{circa } 60 \sqrt{L_0 C_0}$$

È interessante vedere da che cosa dipendono i valori della capacità e della induttanza negli aerei più usati in pratica.

Se un aereo è fatto di un solo filo, quanto più esso è lungo e tanto più sono grandi sia la capacità che l' induttanza; quindi maggiore sarà la lunghezza dell' onda fondamentale.

Se invece di un solo filo si usano due fili paralleli, distanti uno o due metri almeno fra di loro, la capacità aumenta (nr. 117), ma diminuisce l' induttanza in proporzione quasi uguale; la lunghezza d' onda resta quindi quasi la stessa. Se poi si aggiungono varî fili divergenti ed in modo che le loro estremità, come negli aerei ad ombrello, oltre ad essere più distanti tra loro, siano anche più basse, allora la capacità aumenta più di quanto non diminuisca l' induttanza, e l' onda cresce. Come regola si può dire che: per gli aerei a filo unico (o a due o più fili paralleli e vicini, siano essi verticali od orizzontali) la lunghezza d' onda è poco più di 4 volte la lunghezza dei varî fili: se l' aereo è a T con gli estremi a livello tale rapporto può giungere a 5; se l' aereo è ad ombrello con gli estremi abbassati, esso può essere 8 volte la lunghezza comune dei varî raggi di cui è formato.

123. - AEREI CON CAPACITÀ O INDUTTANZA AGGIUNTA. — La capacità e la induttanza considerate al nr. precedente sono quelle distribuite sull'aereo, cioè quelle inerenti all'aereo considerato dalla sua estremità isolata fino al suo ingresso nella stazione. Normalmente però nella stazione viene aggiunta una induttanza od una capacità per poter variare la lunghezza d'onda fondamentale λ_0, e accordare così l' aereo sopra un' altra onda λ che si desidera trasmettere o ricevere. In questo caso l' induttanza o la capacità complessive dell'aereo così modificato comprendono due parti, una distribuita lungo l' aereo e l' altra concentrata in fondo ad esso, vicino alla presa di terra.

Le regole per dedurre la lunghezza d' onda risultante, in tutti i casi che si possono considerare, sono piuttosto complicate. Più semplice è la regola pel caso comune, in cui l' aereo ha solo induttanza aggiunta L, e questa è maggiore della induttanza distribuita L_0 dell' aereo. In questo caso l' aereo si comporta come un circuito chiuso di cui la capacità è ancora quella C_0 distribuita dell' aereo, mentre la induttanza è solo quella aggiunta L. L' influenza della induttanza L_0 distribuita è cioè, in questo caso, trascurabile. Ne segue che l'onda che si ottiene in questo caso è data con molta approssimazione dalla formula dei circuiti chiusi, cioè:

$$\lambda = 1.88 \sqrt{L\, C_0}$$

che non tiene conto della induttanza L_0, ed in cui λ è in metri, L in μH, e C_0 in μμF.

124. - VANTAGGI DEGLI AEREI A GRANDE CAPACITÀ. — Da quanto si è detto ora risulta che due aerei aventi uguale lunghezza d' onda possono avere diversa la proporzione fra capacità ed induttanza. I due aerei della fig. 137 sono precisamente in questa condizione; essi hanno uguale lunghezza d' onda, ma quello A ha una capacità circa metà (nr. 44), ed una induttanza circa doppia (nr. 60) di quello B. Per essi saranno quindi diversi i valori da dare alle capacità ed alle induttanze da aggiungersi per variarne l'onda; infatti, per allungare l' onda di un aereo avente piccola capacità ci vuole *più induttanza* che per un aereo di grande capacità, mentre per accorciarlo ci vuole *meno capacità*.

Si considerino ad esempio i due aerei della fig. 137; si supponga che essi abbiano come capacità e induttanza distribuita: quello A, capacità = 1 millesimo di microfarad e induttanza = 100 microhenry; quello B, 2 millesimi di microfarad e 50 microhenry. L' onda fondamentale λ_0 sarà per entrambi (vedi nr. 122).

$$\lambda_0 = 38 \sqrt{100 \times 1} = 38 \sqrt{50 \times 2} = 380 \text{ m.}$$

Si ponga ora in serie su di essi una stessa induttanza, per es. di 200 microhenry (fig. 138). Poichè l'induttanza aggiunta è in entrambi i casi maggiore dell' induttanza propria dell'aereo, si può applicare la regola del numero precedente: l'onda del primo aereo diventerà:

$$\lambda_1 = 1.88 \sqrt{200 \times 1000} = 848 \text{ m.};$$

e quella del secondo:

$$\lambda_2 = 1.88 \sqrt{200 \times 2000} = 1200 \text{ m.}$$

La stessa induttanza ha dunque aumentato la lunghezza d'onda in misura molto diversa per i due aerei.

Volendo poi ottenere sul primo l'onda di 1200 metri, come sul secondo, occorrerebbe una induttanza di 400 microhenry, cioè doppia di quella occorrente per il secondo aereo; infatti:

$$1.88 \sqrt{400 \times 1000} = 1200 \text{ m.}$$

Se si facesse ora il calcolo delle capacità da inserire nei due aerei per ridurre l'onda, per esempio, a 300 metri, si troverebbe che per l'aereo A occorrerebbero 1,15 millesimi di microfarad, mentre ne occorrerebbero 2,30 per B. Dunque per produrre in B ed in A

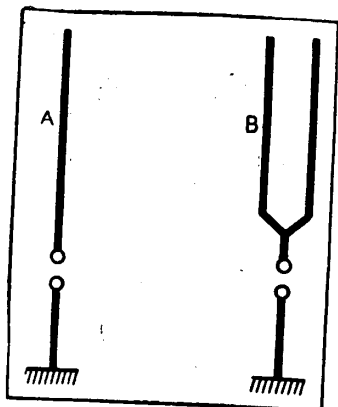



Fig. 137.

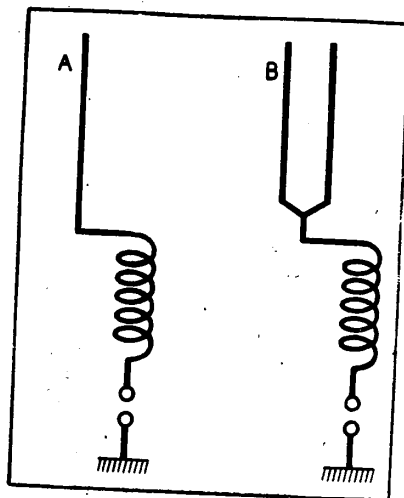



Fig. 138.

una stessa variazione di lunghezza d'onda, occorre in A una induttanza doppia, oppure una capacità metà di quelle occorrenti per B. Ora poichè le aggiunte di induttanze troppo grandi o di capacità troppo piccole sono egualmente dannose per l'efficienza degli aerei, perchè si determinano delle tensioni maggiori ai loro estremi, così ne segue che è di massima più conveniente avere aerei a grandi capacità, cioè a più fili, perchè le variazioni di lunghezza d'onda si ottengono, in essi, con ~~capacità ed~~ induttanze più piccole, che producono minori tensioni ai loro estremi.

Occorre al riguardo notare che, aumentando il numero dei fili, senza contemporaneamente allontanarli l'uno dall'altro, non si aumenta in proporzione la capacità, perchè i fili interni si caricano sempre meno di quelli esterni; quindi l'aumento del numero dei fili ha un limite pratico, dato dalla possibilità di sostenere i fili a sufficiente distanza fra di loro, non essendovi quasi nessun vantaggio ad aggiungere fili a distanze minori di un metro l'uno dall'altro.

125. - Tipi di aerei ad antenna. — Quattro sono i tipi di aerei ad antenna più usati; essi sono indicati nelle figg. 139, e sono l'*aereo ad ombrello (a)*;

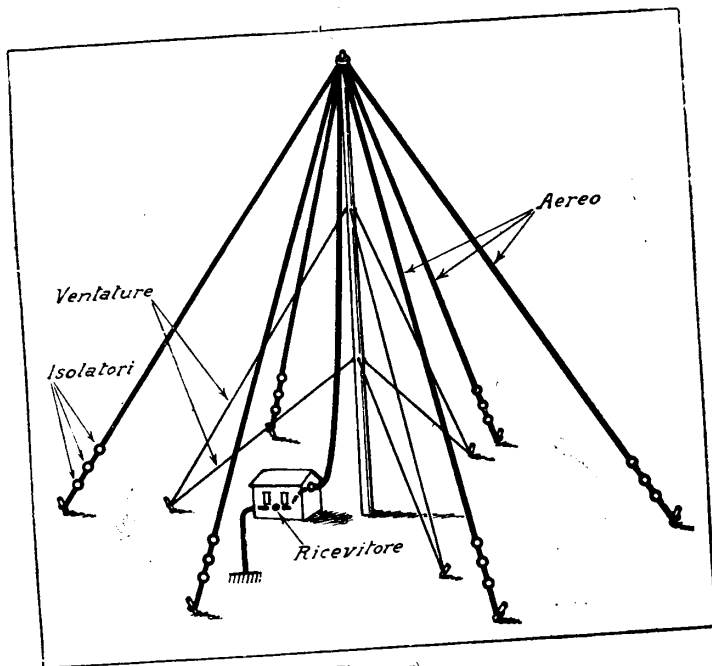



Fig. 139 *a*).

l'*aereo a T (b)*; l'*aereo ad L (c)*, e l'*aereo ad area terminale (d)*. Nell'aereo ad ombrello è necessario un solo sostegno e gli stessi fili che fanno da aereo pos-

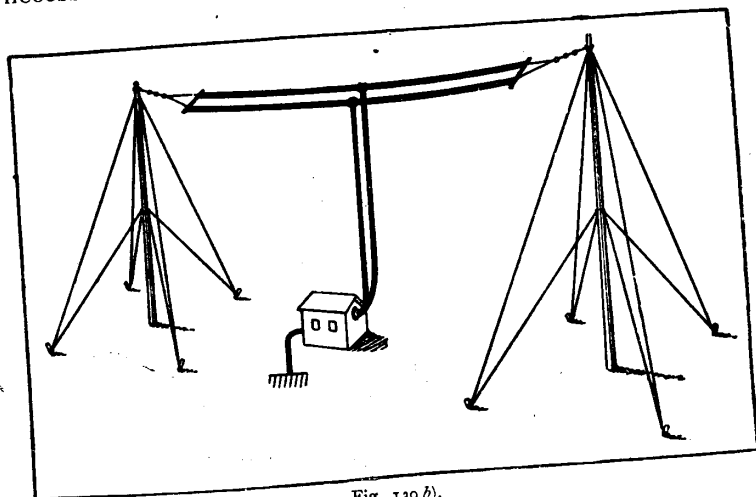



Fig. 139 *b*).

sono utilizzarsi come ventature. Generalmente si fa a 4 od a 6 raggi, e non conviene disporne di più, poichè la capacità non aumenta in proporzione.

L'aereo a T e l'aereo a coda presso a poco si equivalgono; l'aereo a coda permette però lunghezze d'onda maggiori, a parità di distanza fra i sostegni, perchè ha la stessa capacità, ma induttanza più forte di quello a T; in que-

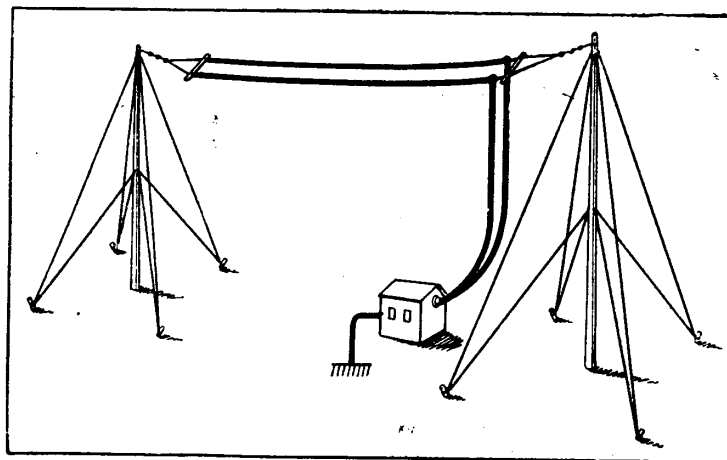



Fig. 139 *c*).

st'ultimo infatti le due metà della parte orizzontale sono in parallelo fra loro, mentre a L sono in serie. È preferibile perciò l'aereo a L quando si debbano usare onde lunghe.

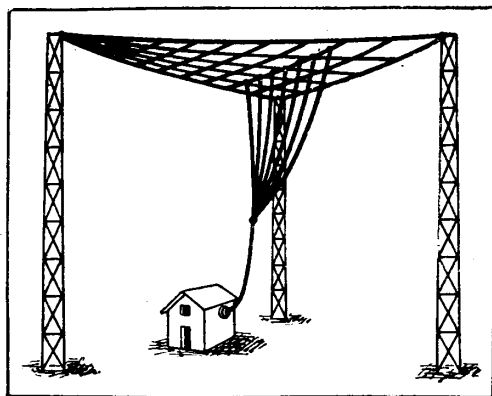



Fig. 139 *d*).

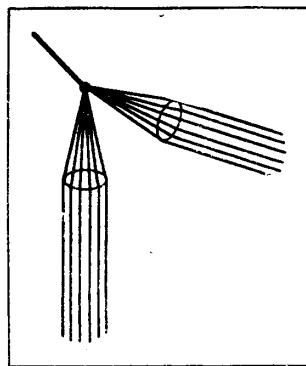



Fig. 140.

L'aereo ad area terminale presenta una capacità quasi tutta concentrata in alto, ciò che equivale ad un aereo di maggiore altezza, perchè esso richiama una maggiore quantità di corrente in alto (vedi paragrafo seguente).

Per tenere alla voluta distanza i fili che compongono gli aerei tipo *b)* e *c)* si usano le *pennole* (fig. 139 *b)* e *c)*, cioè sbarre di legno, sostenute da funi iso-

lanti, alle quali si attaccano i fili. I fili che scendono ed entrano in stazione costituiscono la *coda* o calata o discesa d'aereo.

Sempre per gli stessi tipi di aereo si può adottare la disposizione a gabbia (fig. 140), nella quale i fili sono disposti ai vertici di crocette di legno, o lungo le generatrici di un cilindro, e tesati fra due o più cerchietti di legno. Dato che in questo modo non si può aumentare molto la distanza tra i fili, così la capacità aumenta poco; però si riduce l'induttanza e la resistenza ohmica.

126. - Distribuzione della corrente e del potenziale sull'aereo. — L'aereo è percorso da correnti oscillanti analoghe a quelle che si hanno nel circuito di scarica dei condensatori, e che sono alternativamente dirette dall'aereo alla terra e dalla terra

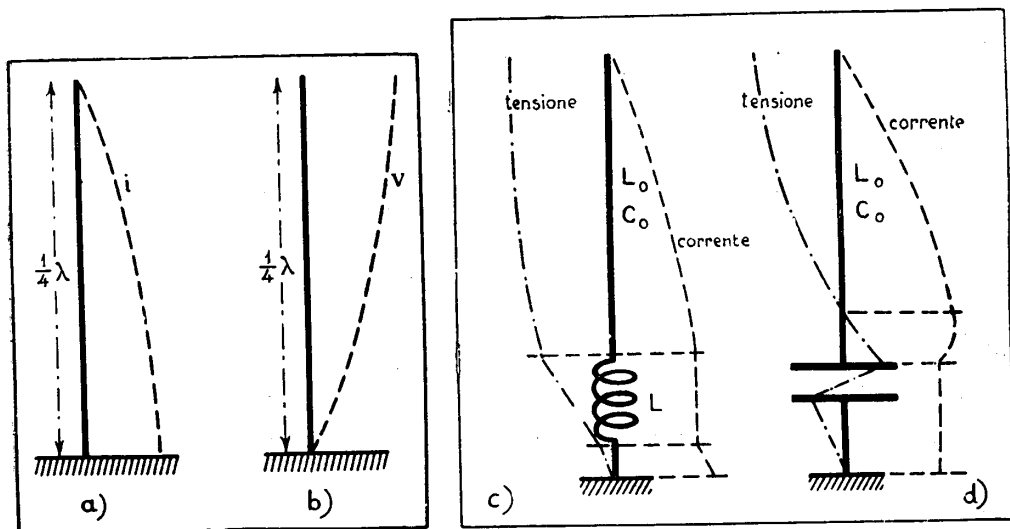



Fig. 141 *a*) e *b*).

Fig. 141 *c*) e *d*).

all'aereo. Lo studio di queste correnti ha dimostrato che esse non hanno uguale intensità in tutti i punti dell'aereo, cosicchè, se si mettessero degli apparecchi per misurarne l'intensità nei varî punti, si noterebbero indicazioni molto differenti, e precisamente si verificherebbe che normalmente la massima intensità di corrente si ha vicino alla presa di terra, e che essa va diminuendo verso l'estremo isolato dell'aereo; a quest'estremo la corrente è sempre zero, poichè, pel fatto dell'isolamento di tale estremità, le cariche elettriche non possono proseguire. Se si disegna una curva per rappresentare l'intensità della corrente nei varî punti di un aereo, quando non vi è capacità nè induttanza aggiunte, si ottiene di solito la fig. 141 *a)*, nella quale le distanze dei punti della curva dalla retta verticale di riferimento sono precisamente proporzionali alla intensità della corrente nei diversi punti considerati.

Il contrario di quanto avviene per la corrente si verifica per la *tensione*; e cioè alla presa di terra, dove la corrente è massima, la tensione è zero, ed il potenziale è uguale a quello della terra; a misura che ci si avvicina alla estremità isolata il potenziale cresce,

fino a diventare massimo a tale estremità. Non è difficile che si abbiano alla estremità isolata dell'aereo in trasmissione delle tensioni di 30,000 a 60,000 volta. La variazione del potenziale è rappresentata dalla curva della fig. 141 *b)*.

Quando vi è capacità o induttanza aggiunte la distribuzione cambia e le curve prendono l'aspetto delle fig. 141 *c)* e 141 *d)*.

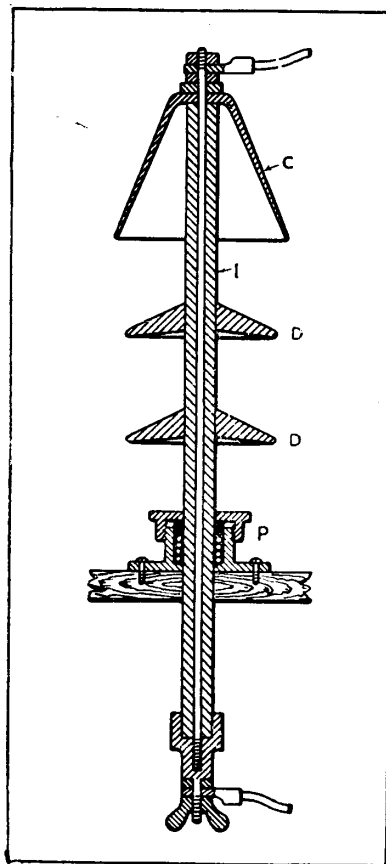
Da questi fatti, di cui la ragione deve ricercarsi nel fenomeno della riflessione delle cariche che giungono alla estremità isolata dell'aereo, si deduce che per i vari punti dell'aereo si devono usare riguardi diversi. Così nei punti vicini alla terra, che sono quelli normalmente percorsi dalle correnti più intense, debbono mettersi molti fili buoni conduttori e grossi; essi però possono anche essere nudi o poco isolati, perchè la loro tensione, rispetto alla terra, è quasi nulla. Al contrario, verso le parti alte dell'aereo, ed anche all'uscita dalla stazione, che è già abbastanza distante dalla terra, devono prendersi grandi precauzioni per evitare le dispersioni delle correnti dell'aereo, a causa della grande tensione che vi esiste, mentre si possono usare fili anche più sottili, essendo piccola la intensità. L'aereo va quindi mantenuto, dalla stazione in poi, molto bene isolato.

Fig. 142.

Si vedrà più avanti che nel caso delle onde più corte (minori di 10 m.), la distribuzione della corrente sull'aereo può assumere forme alquanto diverse da quelle ora considerate.

Negli aerei a capacità concentrata in alto, o in quelli a T o ad L, la parte terminale della curva di corrente si ha verso le estremità isolate, che sono nei tratti orizzontali. I tratti verticali sono perciò percorsi da una corrente quasi costante, il che è favorevole all'irradiazione. Ciò li fa preferire agli aerei verticali.

Nel caso di posti solo riceventi, l'isolamento dell'aereo, pur essendo sempre necessario, si può ottenere molto più semplicemente con piccoli tubi di ebanite o di porcellana, e con qualche isolatore a uovo o a sella.

L'uso delle emissioni ad o. p. ha un poco ridotto la necessità dell'isolamento degli aerei, perchè le tensioni massime che si hanno in queste emissioni sono molto minori, a parità di potenza sull'aereo, di quelle delle emissioni ad onde smorzate, nelle quali l'energia è emessa in treni molto intervallati, ma molto intensi.

127. - Isolamento dell'aereo. — Quando si prevedono forti tensioni sull'aereo, è necessario curarne in modo speciale l'isolamento. All'uscita della stazione questo si ottiene impiegando le uscite d'aereo, costituite in genere da grossi tubi di ebanite o di vetro, lunghi tanto da sopravvanzare di circa 20 cm. per

parte la parete attraversata, nei quali passa il filo. Un tipo comune nelle stazioni campali è l'uscita tipo Bradfield (fig. 142), consistente in un tubo di ebanite o di porcellana I, sormontato da un cappelletto C per ripararlo, almeno in parte, dalla pioggia ed impedire così le perdite dovute alla conduttività dell'acqua che potrebbe bagnarlo. Un certo numero di alette D isolanti servono ancora sia a ripararlo dalla pioggia, che ad aumentare l'isolamento. Per fissarlo alla parete che si vuole attraversare, si ha un premistoppa P.

Vicino ai sostegni (o antenne), l'aereo viene isolato mediante isolatori di ebanite a cono (fig. 143 *a*), oppure mediante funi gommate (fig. 143 *b*), o catene di isolatori di porcellana a palla, a uovo ecc. (fig. 143 *c*), fatte in modo da potersi

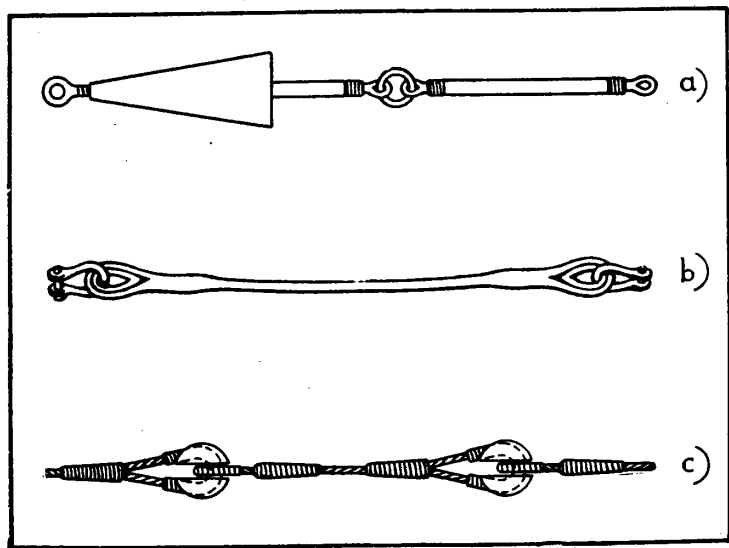



Fig. 143.

facilmente collegare, mediante fibbie, alle funi di ritegno. I fili dell'aereo devono attaccarsi ai sostegni soltanto con l'intermediario di tali isolatori, o di altri analoghi ed equivalenti; altrimenti le perdite dovute al cattivo isolamento possono facilmente diminuire l'efficienza della stazione.

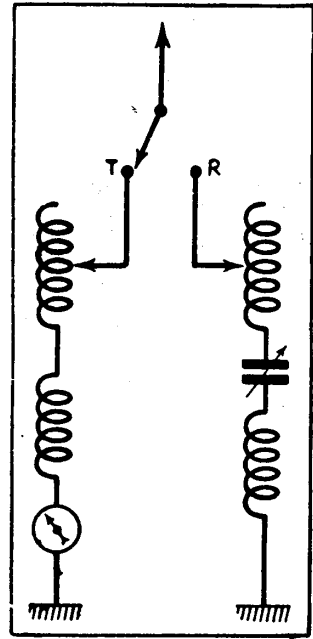
All'estremità libera dell'aereo, la lunghezza della catena isolatori non deve essere minore, in generale, di 60 od 80 centimetri per le piccole stazioni che qui si considerano.

128. - Collegamento dell'aereo alla trasmissione ed alla ricezione. — Nel caso in cui l'aereo debba servire per la trasmissione e per la ricezione, occorre provvedere un dispositivo per i collegamenti successivi al trasmettitore ed al ricevitore. La forma più semplice è quella di un commutatore

unipolare (fig. 144), il cui fulcro è collegato all'aereo, e che può far contatto o sull'induttanza d'aereo di trasmissione o sul serrafilo d'aereo del ricevitore. Trasmettitore e ricevitore possono avere terra comune, oppure terre distinte.

Fig. 144.

129. - Proprietà direttiva degli aerei. — L'aereo a coda (fig. 139 *c*) è anche detto aereo direttivo Marconi, per la sua proprietà di dirigere le onde prevalentemente in una direzione. Misurando tutt'all'intorno l'intensità del campo e. m. da esso generato, si è verificato che esso non è perfettamente uniforme nelle varie direzioni, ma presenta dei massimi e dei minimi. E precisamente un massimo più ampio in direzione opposta a quella della parte orizzontale dell'aereo; e un altro massimo (però molto più piccolo del precedente) nella direzione della parte orizzontale (e cioè a 180^0 dal primo). Presenta poi due minimi a circa 60^0 dal secondo massimo (fig. 145). Questa dissimmetria è però in pratica poco o nulla rilevabile.

Gli aerei chiusi o a telaio, nonchè quelli parabolici o allineati, impiegati per le onde più corte, hanno proprietà direttive molto più pronunciate del precedente, e servono quindi sia per trasmettere, che per ricevere, prevalentemente in determinate direzioni. Gli aerei a telaio servono anche per stabilire la direzione di provenienza di una data emissione (radiogoniometria).

130. - Sostegno degli aerei. — Si è già in varii punti accennato al sostegno degli aerei. Nel caso di piccole stazioni od anche di soli posti riceventi, il sostegno può essere naturale, e cioè costituito da elementi già esistenti (alberi alti, camini, torri, fabbricati elevati); ma più spesso, e specialmente per stazioni di una certa potenza, è costruito appositamente, e prende il nome di antenna o di sistema delle antenne. L'antenna può essere formata da un solo albero o da più alberi, di altezza diversa a seconda il tipo di aereo. In genere è sempre una costruzione di sezione molto piccola rispetto all'altezza, mantenuta verticale e resistente al vento mediante sistemi di funi solidamente attaccati a punti fissi del terreno (picchetti o blocchi

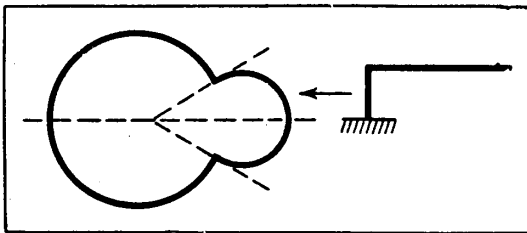



Fig. 145.

di ancoraggio o di ormeggio), dette controventi o venti (nel loro complesso ventature) o sartie (nel complesso sartiame), od anche stralli.

Se la costruzione è di altezza limitata si può farla di elementi, in modo che ogni albero può facilmente alzarsi od abbassarsi con una manovra. Sono di tale tipo le antenne delle stazioni campali: si alzano, dopo averle composte sul terreno, con una manovra a leve; oppure svolgendole a telescopio, o sviluppandole man mano mediante un verricello. Per renderle leggere, gli elementi sono tubi di legno o metallici (fig. 146). I venti sono funi metalliche e sono muniti ciascuno di funi di tensione, che permettono, mediante tenditori di legno, di dare loro la giusta tensione. Superando l'altezza di 30 metri, le antenne assumono in genere carattere stabile; sono allora di legno o metalliche: piene, se di altezza limitata, a traliccio, se di grande altezza. In quest'ultimo caso prendono più specialmente il nome di piloni; se poi hanno sezione grande, in modo da non richiedere più le ventature, allora hanno la denominazione di torri. Se sono completamente metalliche, è generalmente provveduto anche il loro isolamento da terra, costruendole su appositi blocchi isolanti di porcellana. Poichè nel caso di piloni i venti sono molto lunghi, e potrebbero essi pure costituire una specie di aereo, che potrebbe entrare in vibrazione, assorbendo inutilmente energia dalla trasmissione, così essi si interrompono con grossi isolatori a palla, di porcellana, detti ralle.

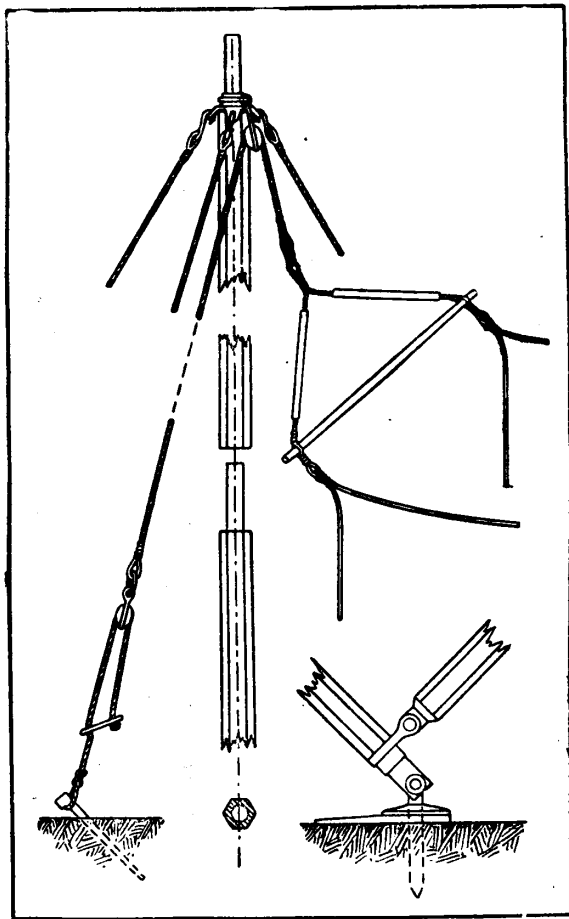



Fig. 146.

Capitolo VI.

Tubi elettronici.

131. - Corrente elettrica nei tubi elettronici. — Nei tubi elettronici si tratta di produrre una corrente nel vuoto, che è un ottimo isolante. Occorre quindi disporre di una sorgente di elettroni, e di un campo elettrico che ve li faccia muovere (vedi nr. 9 e 11). La convenienza di operare in uno spazio vuoto deriva da due diverse considerazioni. Nel vuoto infatti il moto degli elettroni può avvenire liberamente, senza troppo frequenti collisioni con atomi liberi, e quindi senza che il fenomeno della ionizzazione venga a perturbare la corrente stessa, come si dirà in seguito.

In secondo luogo, quanto più il vuoto è spinto, tanto più alta sarà l' intensità del campo elettrico che si potrà applicare, senza che avvenga la ionizzazione; maggiore sarà quindi la potenza che potrà essere messa in gioco. Nei vuoti elevati che ora si possono ottenere, si possono applicare dei campi elettrici così intensi che la velocità assunta dagli elettroni può raggiungere 1/10 di quella della luce. A tale velocità la forza viva posseduta dagli elettroni è grandissima (poichè è proporzionale al quadrato della velocità), anche se é piccola la massa; e gli effetti che ne derivano possono essere notevoli, quali l'arroventamento di una piastrina metallica da essi colpita, e la perforazione di uno spessore di alcuni decimi di $^{m}/_{m}$ di vetro.

Orientando mediante un campo elettrico il moto degli elettroni irradiati da una sorgente, essi, movendosi tutti o quasi in una determinata direzione, daranno luogo ad una corrente elettronica, la quale durerà fino a che funzionano la sorgente di elettroni e la causa di orientamento. Una tale corrente è in tutto simile ad una corrente elettrica. Con questo artificio, lo spazio vuoto, che è perfettamente isolante, diventa in certo modo conduttivo, così da poter far parte di un circuito elettrico, ma solo nella direzione del campo elettrico applicato.

132. - Emissione degli elettroni. — La sorgente degli elettroni cui si è ora accennato si può ottenere operando convenientemente su un corpo conduttore, il quale, possedendo elettroni liberi, può in determinate condizioni, espellerli dal suo interno.

Nelle condizioni normali gli elettroni non possono uscire dai corpi conduttori (a meno che si tratti di sostanza radioattiva), poichè durante il loro movimento, quando si avvicinano alla superficie esterna del corpo, vi sono arrestati da speciali forze superficiali di coesione. Per provocarne l'uscita occorre o la applicazione di un intenso campo elettrico o l'intervento di un'energia adatta, la quale, aumentando la velocità degli elettroni, la porti ad un valore tale che la forza viva corrispondente riesca a vincere la forza di coesione suddetta.

Il primo sistema è quello che si usa nei tubi di Röntgen e in quelli di Crookes studiati nella fisica.

Per il secondo sistema, e cioè per aumentare la velocità degli elettroni interni al corpo, si possono avere tre modi principali. Uno di essi è il cosidetto bombardamento catodico, cioè l'urto potente di elettroni, molto accelerati da un intenso campo elettrico, sopra una superfice metallica. Gli elettroni superficiali urtati ricevono dall'urto una forza viva sufficiente a vincere l'attrazione superficiale e vengono espulsi o emessi all'esterno. Questo modo, detto *emissione secondaria*, viene utilizzato ad es. nelle più moderne valvole elettroniche (tetrodi).

Un secondo modo, detto *emissione fotoelettrica,* si verifica su speciali superfici metalliche (metalli alcalini, sodio, potassio, cesio, rubidio), quando sono colpite dalla luce. Ma il metodo più comune è quello adottato nelle valvole usate in r. t. e cioè quello della *emissione termoionica,* che consiste nel portare un conduttore (generalmente un filo metallico) ad una temperatura elevata, la quale, aumentando notevolmente la velocità degli elettroni, ne provoca la emissione. Per questa ragione tutti i filamenti delle lampadine ad incandescenza emettono degli elettroni quando sono accesi; il fenomeno in questo caso prende il nome di effetto Edison.

L'emissione termoionica degli elettroni dipende dalla natura e dalla temperatura del corpo e dall'ampiezza della superficie emittente: si può quindi accrescerla con la scelta opportuna del filamento ed aumentandone la temperatura ed il diametro.

133. - Carica spaziale. — Se nell'ambiente, generalmente un tubo di vetro chiuso e a vuoto molto spinto, in cui si mette la sorgente di elettroni, che sarà ad es. un filo metallico incandescente, mancasse la causa di orientamento, vale a dire il campo elettrico, allora gli elettroni si irradierebbero in tutte le direzioni, ed i primi emessi, giunti sulle pareti del bulbo, vi formerebbero una specie di nube di elettricità negativa. Gli elettroni emessi successivamente verrebbero di conseguenza respinti da tale nube, cosicchè rapidamente si giungerebbe ad una condizione di saturazione, in cui tutto il tubo sarebbe occupato da elettroni, e nessuna emissione sarebbe più possibile dal filamento. La carica negativa che in tal modo circonda il filamento dicesi *carica spaziale negativa* del tubo. Nelle lampadine ad incandescenza, mancando il campo elettrico, si ha sempre la carica spaziale negativa.

Per ottenere una corrente elettronica, quale occorre per gli scopi r. t., necessita dunque annullare o ridurre la carica spaziale negativa, e ciò si ottiene applicando vicino al filamento un elettrodo, generalmente a forma di placca metallica, mantenuto a potenziale positivo rispetto al filamento, mercè l'applicazione di una adeguata f. e. m. Tale potenziale positivo determina un campo elettrico opposto a quello creato dagli elettroni circondanti il filamento, il cui effetto è di attrarre gli elettroni verso la placca stessa, conferendo loro una velocità in certo modo proporzionata alla intensità del campo.

Se la f. e. m. applicata tra placca e filamento è tanto intensa da determinare anche vicino a questo e su di esso un campo elettrico positivo superiore a quello negativo prodotto dagli elettroni emessi, cioè tale da annullare completamente l'effetto della carica spaziale, allora tutti gli elettroni che possono venire emessi dal filamento, per effetto della sua temperatura, vengono avviati alla placca dal campo elettrico positivo risultante. Se però questo campo non raggiunge un valore molto elevato, per modo che intorno al filamento rimane una carica spaziale, allora solo una parte degli elettroni che potrebbero essere emessi (e precisamente i più vicini alla placca), vengono avviati all'anodo, e man mano sono sostituiti da altri emessi. In ogni caso gli elettroni assorbiti dalla placca vengono dalla stessa f. e. m. istradati nel circuito che collega l'anodo al filamento, e, ritornando a questo, sono un'altra volta emessi e rimandati alla placca, determinandosi così un flusso costante di elettroni attraverso lo spazio vuoto tra filamento e placca, equivalente in tutto ad una corrente elettrica, di cui il segno deve essere preso in senso contrario al moto degli elettroni, essendo questi carichi negativamente.

Per arrestare la corrente elettronica basterebbe non rinnovare la carica positiva alla placca, e quindi annullare la f. e. m. applicata, oppure disporvi una carica negativa, e cioè invertire la f. e. m. applicata. In questi casi, il campo negativo, che si creerebbe intorno al filamento per effetto della carica spaziale, impedirebbe ogni uscita di elettroni, e in ogni caso rimanderebbe sul filamento quelli dotati di maggior velocità che ne uscissero.

134. - Corrente ionica. — Può darsi che l'ambiente in cui si trova il centro d'emissione degli elettroni non sia a vuoto molto spinto, e contenga cioè tracce sensibili di gas. Si avranno in questo caso degli atomi di tale gas che si moveranno liberamente in detto spazio, ostacolando con la loro presenza il libero movimento degli elettroni emessi, i quali frequentemente li incontreranno nel loro tragitto. Se il campo elettrico è abbastanza intenso, la velocità degli elettroni può essere di tale valore che gli atomi, colpiti violentemente dall'elettrone, perderanno uno o più elettroni propri, i quali si uniranno agli elettroni provenienti dal filamento, e si dirigeranno essi pure verso il centro di attrazione. La corrente elettronica viene così aumentata. Lo ione positivo, che deriva dall'atomo privato di uno o più elettroni, verrà respinto dal centro attrattivo, che ha carica positiva, e attratto invece dal centro emittente, che funziona da polo

negativo; e cioè si formerà, contemporaneamente alla corrente degli elettroni, una corrente in senso contrario di ioni positivi, diretta verso il centro di emissione; le due correnti elettronica e ionica, avendo la stessa direzione, equivalgono ad una unica corrente.

In definitiva, nei tubi a vuoto poco spinto, quando il campo elettrico è abbastanza intenso, si ha un moto di trasporto di elettroni in un senso e di ioni positivi nel senso opposto; e quindi una corrente risultante (ionica ed elettronica) che può raggiungere valori considerevoli.

In questo caso inoltre l'urto degli elettroni contro gli atomi neutri può determinare effetti secondari, come fenomeni luminosi (luminescenza), analoghi a quelli che si osservano nei tubi di Geissler. Infine la eccessiva corrente elettronica può riscaldare fortemente la placca, come quella ionica può rompere il filamento. Entrambe possono quindi riuscire molto dannose, specialmente nelle valvole studiate per vuoti molto spinti, e di conseguenza non adatte per sopportare correnti molto intense.

135. - Classificazione dei tubi a vuoto. — Il diverso comportamento dei tubi a vuoto ha reso necessario distinguerli in due classi: a vuoto molto spinto (tubi duri), nei quali le tracce di gas residui sono insensibili, e che perciò presentano solo corrente elettronica; a vuoto comune o non spinto (tubi molli), nei quali c'è presenza di quantità sensibili di gas, con conseguente formazione di corrente ionica. Per gli scopi r. t. sono quasi esclusivamente impiegati tubi a vuoto molto spinto, il cui comportamento è più regolare; non mancano però esempi di applicazione di tubi molli, specie per la ricezione, ma più specialmente ancora per scopi accessori (raddrizzatori di corrente alternata per carica accumulatori, ecc.), nei quali si sfruttano le correnti più intense che si possono ottenere utilizzando i fenomeni di ionizzazione. Le valvole a due ed a tre elettrodi che si considereranno nel seguito saranno dunque a vuoto molto spinto, a meno che non sia diversamente accennato.

136. - Vuotatura delle valvole. — Speciali procedimenti si seguono per raggiungere il vuoto molto spinto, quale occorre nelle valvole elettroniche. Non solo si ricorre a pompe molecolari di speciale costruzione; ma durante il loro funzionamento si mantengono ad elevata temperatura gli elementi metallici (elettrodi) ed anche il vetro del bulbo, in modo che vengano eliminate più che possibile le bollicine di gas occluse nel metallo e nel vetro; e si prosegue per un certo tempo tale operazione, onde assicurare che anche le bollicine e le impurità più interne siano state espulse, e poi aspirate dalle pompe.

Il riscaldamento ad alta temperatura degli elettrodi si ottiene o col passaggio di una intensa corrente elettrica, quando per la sua forma l'elettrodo vi si presta; oppure, più comunemente, con l'intenso bombardamento di una corrente elettronica, ottenuta forzando l'incandescenza del filamento ed elevando la intensità del campo elettrico applicato. Nei tipi di valvole a filamento più delicato (valvole micro con filamento toriato o con filamento ad ossidi), il bombardamento elettronico, ottenuto forzando l'incandescenza, non è consigliabile; ed allora per il riscaldamento dell'elettrodo si ricorre a correnti indotte dal-

l'esterno nell'elettrodo stesso, il quale funziona da secondario di un trasformatore di cui il primario è una bobina che si investe, durante il trattamento, sul bulbo, e che viene percorsa da una corrente ad alta frequenza.

La vuotatura si completa con pompe a condensazione di mercurio oppure con una azione chimica, per lo più impiegando il magnesio, il quale si fa volatilizzare nell'interno, dopo compiuta la vuotatura con le pompe. Il magnesio, volatilizzato nel vuoto già molto spinto, va a depositarsi sul vetro (bulbi a vetro argentato), trascinando insieme le particelle gassose residue, e fissandole in modo stabile sulle pareti.

137. - Vari tipi di filamenti. — Poichè la emissione termojonica dipende moltissimo dalla natura del filamento, così molte ricerche si sono fatte per trovare ed impiegare le sostanze più adatte. Queste sono risultate essere il bario, il calcio, lo stronzio, il torio. Il filamento di tungsteno puro è molto adatto per le valvole di grande potenza, perchè molto robusto, e perchè può sopportare le massime temperature, favorevoli alle forti emissioni, ma è stato successivamente sostituito nelle valvole riceventi e nelle piccole trasmittenti con il filamento al torio prima e poi con quello ad ossidi di calcio, di bario, di stronzio, depositati nei modi più diversi su filamenti di platino iridiato, o di molibdeno o di tungsteno, che fanno da supporto. Questi filamenti, portati ad una temperatura di 900 ÷ 1000 gradi, anzichè 2200 ÷ 2400 come quelli di tungsteno puro, dànno una emissione molto più grande del tungsteno.

Essi rappresentano gli elementi per ora più adatti per sfruttare al massimo il fenomeno della emissione termojonica.

CAPITOLO VII.

Valvole a due elettrodi o diodi.

138. - VALVOLE A DUE ELETTRODI. — Le valvole a due elettrodi, o diodi, sono state le prime introdotte nella pratica r. t., essenzialmente per la ricezione. In questo loro impiego sono state oggi quasi ovunque sostituite dalle valvole a tre elettrodi, mentre, sotto altra forma, sono ancora largamente impiegate per la trasformazione della corrente alternata, sia a bassa che ad alta tensione, in corrente continua, specie per l'alimentazione del filamento e della placca nei triodi trasmittenti. Di tali impieghi si dirà al nr. 224.

La valvola ricevente a due elettrodi, o di Fleming (1) dal suo ideatore, è costituita da un bulbo o recipiente di vetro nel quale è fatto il vuoto ed in cui trovansi due elettrodi: *filamento* o *catodo*, destinato ad emettere gli elettroni, *placca* od *anodo* destinato a raccoglierli. Il filamento è normalmente percorso da una corrente elettrica abbastanza intensa, che lo mantiene ad una elevata temperatura, e che può essere modificata, per variare all'occorrenza l'emissione degli elettroni. L'anodo comunica all'esterno con un proprio conduttore, che permette di collegarlo al polo positivo di una sorgente di f. e. m. (es.: batteria di pile), al fine di mantenere la placca stessa ad un potenziale positivo rispetto al filamento, come è necessario per lo scopo che si vuol raggiungere.

La valvola ha in definitiva l'aspetto di una lampadina ad incandescenza (fig. 147), contenente nell'interno del bulbo, oltre il filamento F (che può essere rettilineo o piegato a V), la placca P che può essere una semplice piastrina metallica affacciata al filamento (fig. 147), oppure un cilindretto metallico che lo avvolge senza toccarlo (fig. 148), od un serpentino (fig. 149). Il filamento deve essere di uno dei metalli indicati al nr. 136. La placca è generalmente di nichelio per le piccole valvole, di molibdeno o di tungsteno nelle grandi.

Il circuito di una valvola a due elettrodi è quello rappresentato dalla fig. 150: e cioè la placca è collegata al polo positivo di una batteria di pile B (o di un altro generatore di f. e. m. continua), detta batteria anodica o di placca, di cui

---

(1) GIOVANNI AMBROGIO FLEMING (Lancaster 29 novembre 1849 - vivente).

il polo negativo è collegato al filamento, in genere all'estremo che è collegato a sua volta al polo negativo della batteria di accensione.

Il circuito d'accensione, comprendente la batteria apposita e una resistenza in serie R, variabile per la regolazione della temperatura del filamento, serve solo per mantenere quest'ultimo alla temperatura necessaria per la emissione di elettroni; ed è quindi un circuito accessorio. Il circuito della valvola, e cioè quello placca-filamento, non è chiuso metallicamente, essendo interrotto dall' intervallo filamento-placca nell' interno del bulbo; esso però si completa non appena si forma la corrente elettronica diretta dal filamento alla placca, che si determina accendendo il filamento. Quando questo è acceso, la corrente elettronica, che va dal filamento alla placca, equivale ad una corrente positiva che va dalla placca al filamento, e che ha quindi il senso dovuto alla batteria anodica. Perciò questa funziona come se fosse chiusa su un conduttore di grande resistenza, costituito dall' intervallo placca-filamento. Tale resistenza equivalente della valvola è sempre molto elevata; inoltre non è costante, come nei conduttori normali: ma, ad esempio, diminuisce se si aumenta l' incandescenza del filamento poichè con ciò si aumenta l'emissione elettronica; essa dipende inoltre anche dalla tensione anodica, come è detto al paragrafo seguente. Un ampermetro di sensibilità conveniente, inserito sul circuito della valvola, permette di misurare l' intensità della corrente che percorre il circuito, e cioè del flusso elettronico che attraversa la valvola.

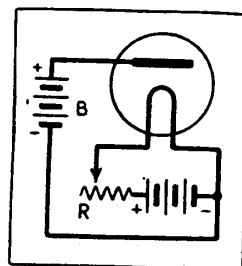



Fig. 147. Fig. 148. Fig. 149.

Fig. 150.

Possono variare nella valvola le dimensioni e la natura del filamento, la tensione della corrente d'accensione, la distanza del filamento dalla placca e la tensione della batteria anodica. Si vedrà in seguito quali conseguenze abbiano tali variazioni.

139. - Temperatura e vita del filamento. — A misura che la temperatura del filamento viene elevata, la emissione massima ottenibile con una adeguata tensione di placca cresce. Non è però da credersi che convenga aumentare per questo indefinitamente la temperatura del filamento. Si è verificato infatti

che spingendo l'accensione del filamento si ottiene bensì una emissione maggiore, ma il filamento brucia più presto, cioè la sua durata è minore; e poichè la bruciatura del filamento significa la morte della valvola, così per ragioni di economia occorre moderare la temperatura, in modo da ottenere una buona emissione, compatibilmente con una buona durata.

140. - Caratteristica della valvola. — La valvola, come si è detto, funziona da conduttore, non appena sia attivata la sorgente di elettroni, ed applicata la tensione anodica. Però essa non si comporta come un conduttore normale, per il quale la legge di variazione dell' intensità della corrente in funzione della f. e. m. applicata è quella semplice di Ohm (nr. 23). Il comportamento è più complesso, e può essere studiato servendosi della curva caratteristica che lega l' intensità della corrente che percorre la valvola con la f. e. m. applicata alla placca.

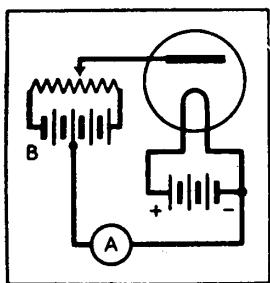



Fig. 151.

Per ricavare la curva caratteristica di una valvola, se ne dispone il circuito come è rappresentato nella fig. 151, cioè la batteria di pile B è inserita con un dispositivo potenziometrico ad inversione (nr. 130), che permette di variare la tensione applicata alla placca entro i limiti di funzionamento del diodo. La corrente che corrisponde ad ogni valore di tensione si legge all'amperometro A. Massima cura deve aversi perchè durante la prova l'accensione del filamento, e quindi la sua temperatura, sia mantenuta costante; giacchè qualsiasi variazione nella temperatura varia la relazione fra corrente e tensione.

Per costruire la curva caratteristica corrispondente ad una data temperatura del filamento, si portano su un'orizzontale (fig. 152) a partire da un punto O e sulla destra tanti segmenti O1 - 12 - 23 ecc., rappresentanti i successivi valori positivi della tensione sulla placca; e sulla sinistra altri segmenti O1 - 12 - 23 ecc. eguali ai precedenti, per rappresentare i valori negativi. Per ognuno dei punti o, 1, 2..., -1, -2..., si innalzano le verticali e su queste si portano dei segmenti che rappresentano in una data scala le intensità delle correnti lette sull'amperometro, e corrispondenti alle varie tensioni di placca; si uniscono quindi gli estremi di tali segmenti verticali con una curva, che è la caratteristica cercata per la temperatura fissata. Si potrà, volendo, cambiare la corrente di accensione e ricavare un'altra caratteristica, corrispondente ad un'altra temperatura.

141. - Particolarità della caratteristica. — La curva illustra il funzionamento della valvola; e le particolarità da notarsi al riguardo sono le seguenti:

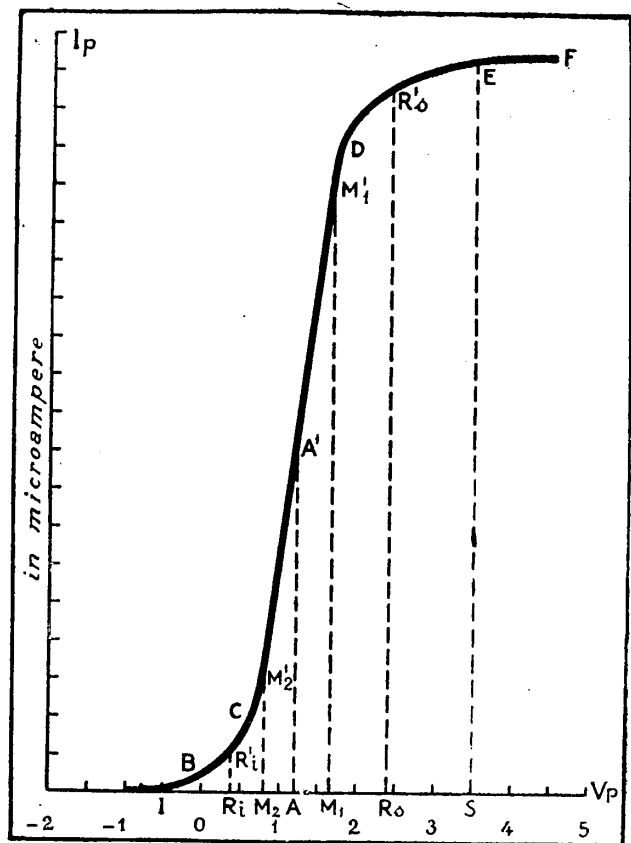
1° la curva non si prolunga al disotto dell'asse delle tensioni di placca, ciò che equivale a dire che la corrente non può essere negativa, cioè diretta in senso contrario al normale; od anche che, essendo la corrente elettronica diretta per sua natura sempre dal filamento alla placca, la valvola è un apparato a

conduttività unilaterale, in cui non si può avere corrente che in una sola direzione, e non nella direzione opposta, anche se si inverte il segno della tensione applicata;

2° la corrente di placca si annulla per una piccola tensione negativa I di placca, essendo detta tensione riferita al polo positivo del filamento. Infatti, finchè la tensione della placca non scende sotto al potenziale dell'estremo negativo del filamento, essa potrà ricevere degli elettroni da una parte del filamento stesso. Il potenziale I, al disotto del quale, crescendo negativamente la tensione, non è possibile ottenere corrente elettronica, dicesi *potenziale di interdizione*;

3° la curva non presenta pendenza uniforme, ed è invece formata da tre tratti, uno I B a piccola inclinazione; uno C D a forte inclinazione; uno E F quasi parallelo all'asse orizzontale, essendo questi tre tratti raccordati da due gomiti, l' inferiore B C, il superiore D E. Ciò significa che la variazione della intensità della corrente nella valvola, in relazione alle variazioni della tensione di placca, non è uniforme; ma dapprima, cioè per piccole tensioni applicate, è piccola (tratto I B), poi è più grande (tratto C D), ed in seguito, per tensioni molto elevate, torna a diminuire, fino ad annullarsi, e la corrente si mantiene praticamente costante (tratto E F). In altre parole, per uno stesso aumento ad es.: di un volta nella tensione della placca, l'aumento nell' intensità della corrente è piccolo, se si è nel primo tratto, e cioè per le piccole tensioni positive di placca; grande se nel secondo, e cioè per tensioni superiori: nullo o quasi se nel terzo, e cioè per le massime tensioni;

Fig. 152.

4° la tensione oltre la quale l'intensità della corrente si mantiene costante corrisponde al punto S, ed è detta *potenziale di saturazione*; al di là di tale valore, nessun aumento di potenziale applicato produce un aumento di corrente. Ciò si

deve al fatto che il numero massimo di elettroni emessi è determinato dalla temperatura del filamento, e quando la tensione applicata alla placca ha raggiunto

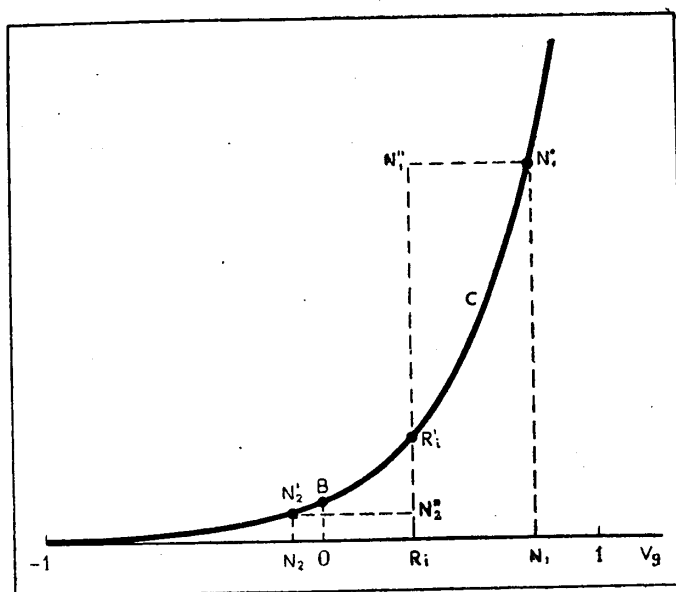



Fig. 153.

il valore per il quale tutti gli elettroni emettibili sono attratti dalla placca, qualunque tensione superiore a questa, se non viene modificata la temperatura del filamento, non può far aumentare la emissione, e quindi la corrente. In tali condizioni, e cioè raggiunta la tensione di saturazione, la corrente potrebbe farsi aumentare solo elevando la temperatura del filamento, e cioè aumentandone la corrente di accensione. A tale riguardo vedasi la fig. 154, e quanto è detto più avanti;

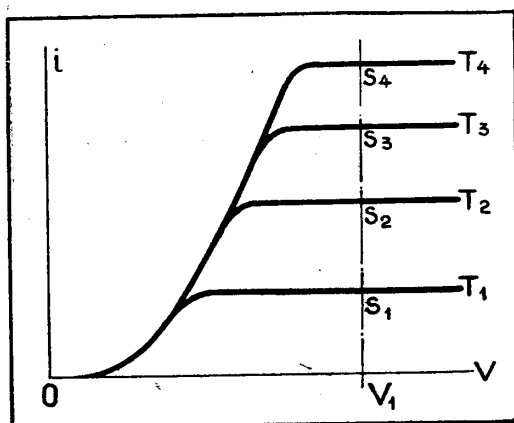



Fig. 154.

5° la curva è rettilinea nelle vicinanze del punto A' centrale del tratto ripido C D. Di conseguenza, se ad un aumento di potenziale di placca AM_1 corrisponde un aumento nell' intensità di corrente da A' a M'_1, ad una diminuzione di potenziale AM_2, eguale all' aumento AM_1 precedente, corrisponde una diminuzione di intensità di corrente da A' a M'_2, eguale

all'aumento precedente. In questo tratto la valvola segue la legge di Ohm, almeno approssimativamente;

6° la curva è dissimmetrica intorno ad un punto R'_i che si trova circa al centro del gomito inferiore BC; ed anche ad un punto R'_s centrale del gomito superiore DE. E cioè (fig. 153), se ad un aumento di potenziale di placca R_i N_1 corrisponde un aumento di corrente R'_i N''_1; ad una diminuzione di potenziale R_i N_2 eguale al precedente aumento R_i N_1 corrisponde una diminuzione $N''_2R'_i$ nell'intensità di corrente, tale che R'_i N''_1 (aumento) è maggiore di R'_i N''_2 (diminuzione).

La stessa cosa si può dire del punto R'_s centrale del gomito superiore; con l'avvertenza che in questo punto, per una stessa variazione del potenziale di placca, gli aumenti di intensità della corrente sono minori delle diminuzioni. In questi due punti, la valvola si distacca al massimo dalla legge di Ohm.

Si è accennato al fatto che le dimensioni e la natura del filamento, nonchè la sua temperatura di accensione, modificano il funzionamento della valvola. Di questi tre elementi, il solo che in una valvola finita può subire variazioni è la temperatura, che si può regolare a mezzo di reostato in serie con la batteria di accensione. Elevando la temperatura si può ottenere una maggiore emissione massima di corpuscoli, cosicchè aumenta la intensità della corrente di saturazione, e quindi la curva si innalza; mentre a temperatura bassa, l'emissione massima si riduce, ed è quindi ridotta la corrente di saturazione; la curva si abbassa verso l'asse delle tensioni di placca. Nel primo caso si fanno più notevoli, e nel secondo invece si riducono, le conseguenze della dissimmetria, di cui si è detto al capoverso precedente. La differenza nelle caratteristiche si rileva dalla fig. 154, dalla quale si vede appunto che il valore V_1 S_1 della corrente di saturazione, corrispondente ad una data tensione V_1 e ad una data temperatura T_1 del filamento, cresce a V_1 S_2 per la temperatura T_2, a V_1 S_3 per la temperatura T_3 ecc. Tale aumento non è però indefinito, e va diminuendo di ampiezza, perchè si verifica un fenomeno di saturazione anche per l'aumento di temperatura. In altri termini, aumentando la temperatura dopo raggiunta la saturazione per tensione, la corrente di placca aumenta nuovamente, fino ad un valore dipendente dalla tensione della placca, oltre il quale non aumenta più. Questo fatto è dovuto alla carica negativa che gli elettroni producono intorno al catodo, e che determina un effetto repulsivo sugli elettroni uscenti dal filamento. Quando lo spazio intorno al catodo è così carico di elettroni da determinare un campo elettrico preponderante rispetto a quello dovuto alla tensione positiva della placca, allora gli elettroni emessi per effetto dell'aumento della temperatura non possono più raggiungere la placca, perchè respinti dal campo contrario, e la corrente così non aumenta. Per aumentare la corrente a questo punto sarebbe necessario aumentare nuovamente la tensione di placca. Ciò può esser messo in evidenza nella fig. 155, che corrisponde alla fig. 154, nel senso che la parte a destra di una delle figure corrisponde alla sinistra dell'altra e viceversa. Per le applicazioni normali delle valvole, conviene partire da una tensione relativamente piccola e da una tem-

peratura relativamente grande, in modo che la corrente possa aumentare al crescere della tensione, e non al crescere della temperatura. Ciò corrisponde alla parte a sinistra nella fig. 154, ovvero dalla destra della fig. 155.

La legge che dà la corrente di saturazione per temperatura è stata formulata da Richardson; quella che dà la corrente di saturazione per tensione è dovuta a Child e Langmuir.

142. - La valvola come rivelatrice o valvola di Fleming. — Al primo capoverso del paragrafo precedente si è visto che la valvola è un apparecchio a conduttività unilaterale. Per tale suo comportamento, può servire per

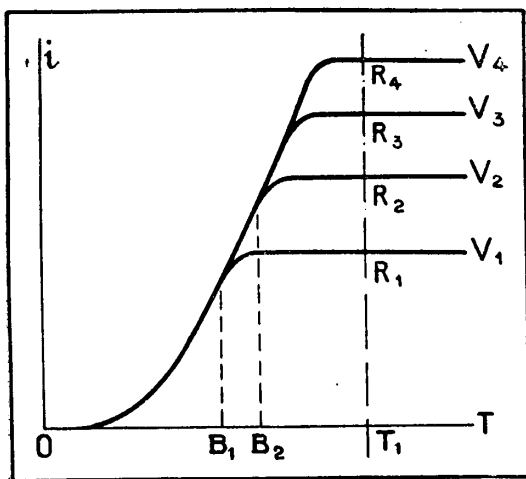



Fig. 155.

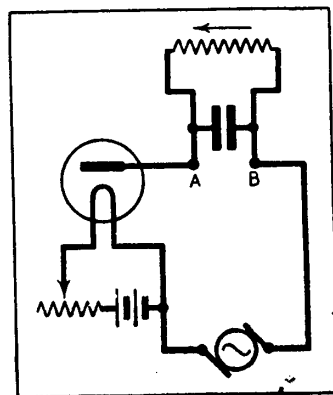



Fig. 156.

la rivelazione delle oscillazioni r. t. smorzate o radiotelefoniche, ed anzi è stato appunto questo impiego il primo esempio di applicazione delle valvole elettroniche, compiuto da Fleming nel 1905.

In questo impiego però oramai la valvola a due elettrodi è stata abbandonata, perchè inferiore non solo ai triodi, come si vedrà, ma anche ai cristalli. Ciò si deve al fatto che la sua sensibilità è press'a poco uguale a quella dei cristalli, mentre costa molto di più di un cristallino, può rompersi facilmente, ed il filamento può bruciarsi, per una tensione troppo alta applicata inavvertitamente all'accensione, e per lungo uso. Inoltre l'accensione richiede una batteria di accumulatori o di pile, ciò che rappresenta una spesa notevole di impianto e di esercizio, non compensata da una maggiore sensibilità della valvola.

143. - La valvola come rettificatrice di c. a. — Data la sua conduttività unilaterale, la valvola può pure servire per rendere unidirezionale o pulsante una corrente alternata di qualunque frequenza, ed è questo il modo attualmente più interessante di impiego dei diodi.

Applicando alla valvola una f. e. m. alternata (fig. 156), la corrente può circolare durante le sole alternanze positive dirette dalla placca al filamento, e tra

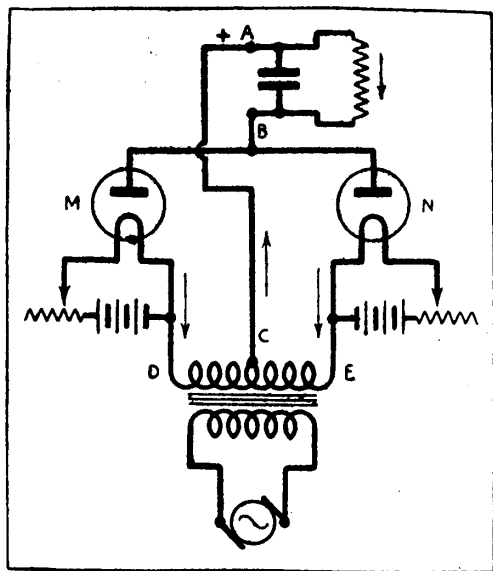



Fig. 157.

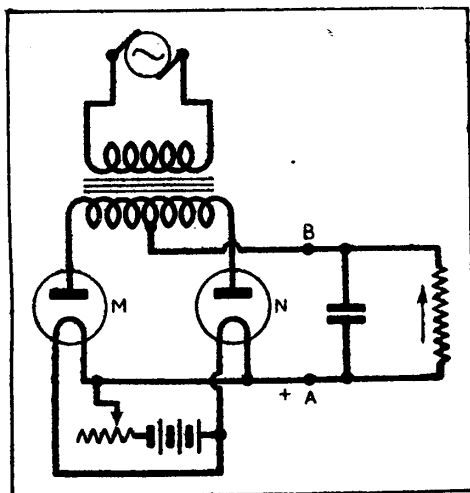
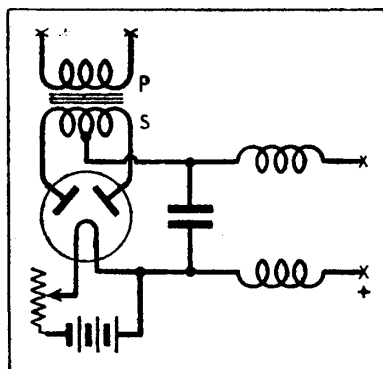



Fig. 158.

una pulsazione positiva e la successiva intercede un semiperiodo di corrente zero, corrispondente alla alternanza negativa. Questo semiperiodo di corrente nulla, si può evitare ricorrendo ad un montaggio duplice (figg. 157 e 158), il quale raddrizza le due alternanze.

Fig. 159.

Nello schema della fig. 156 la sorgente di f. e. m. alternata, essendo in serie nel circuito di placca, può fornire corrente solo nel senso della conducibilità della valvola; e quindi il circuito AB di utilizzazione viene percorso in un solo senso (quello indicato dalla freccia) dalla corrente.

Nello schema delle figg. 157 e 158 la sorgente di f. e. m. alternata è in circuito col primario di un trasformatore, il cui secondario ha i capi sui due filamenti ed il punto di mezzo collegato alle placche di due valvole, attraverso il circuito di utilizzazione; oppure reciprocamente i due capi sulle due placche e il punto di mezzo al filamento, attraverso il circuito di utilizzazione. In tal modo (fig. 157) quando il

punto C è a potenziale più elevato di D, può aversi corrente nel circuito CAB-placca della valvola M; e ciò avviene ad es. durante le alternanze positive della corrente; quando invece C è a potenziale più elevato di E, allora la corrente si stabilisce nel circuito CAB-placca della valvola N; e ciò avviene per le alternanze negative. In definitiva fra i due punti A e B si ha sempre una differenza di potenziale nel senso A-B, e cioè nel circuito di utilizzazione la corrente avrà direzione costante.

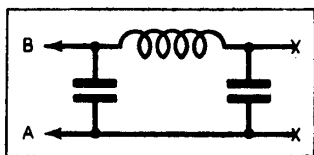
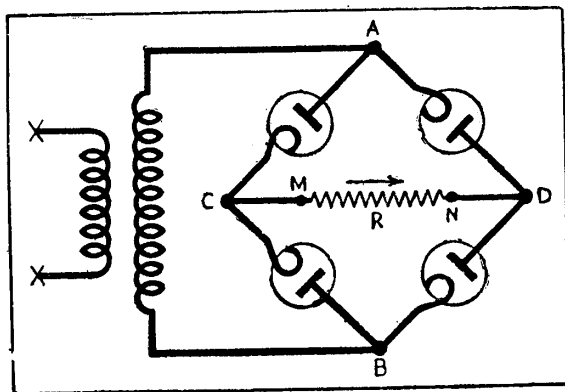



Fig. 160.

Si possono impiegare pure valvole a due placche; una valvola di tale tipo funziona come due diodi normali, e cioè raddrizza le due alternanze. I collegamenti in questo caso sono come da fig. 159.

La corrente raddrizzata risulta però, tanto in un collegamento quanto nell'altro, di forma pulsante. Si può spianarne la pulsazione, e cioè ridurla a corrente continua, ricorrendo ad un condensatore di capacità opportuna, derivato sul circuito di utilizzazione, il quale viene caricato dalla valvola nelle alternanze in cui c'è corrente e si scarica lentamente sul circuito di utilizzazione delle altre alternanze. Le ampiezze delle pulsazioni vengono così ridotte; e la corrente alimentata dal condensatore risulta pressapoco costante.

Fig. 161.

Dopo la rettificazione, la corrente può servire ad esempio per la carica di accumulatori, ed anche per fornire la tensione anodica di valore elevato nei trasmettitori a triodi, come si vedrà in seguito. In questo caso è necessario procedere ad uno *spianamento* più accurato della tensione raddrizzata, in modo da renderla effettivamente di ampiezza costante, quale occorre ad es. per la radiotelefonia e per la r. t. ad onde persistenti. Lo spianamento si ottiene in questo caso a mezzo di appositi circuiti detti filtri, comprendenti forti capacità e forti induttanze, ad es. disposti come nella fig. 160. Su tale argomento vedi anche più avanti il nr. 224.

La valvola raddrizzatrice deve poter portare correnti intense e sopportare tensioni ingenti. Affinchè ciò sia possibile, sono necessari una forte emissione di elettroni e un ottimo isolamento; così il filamento deve essere piuttosto grosso, anche per resistere alle attrazioni e repulsioni elettrostatiche delle placche, e tutta la valvola piuttosto grande.

144. - Altri raddrizzatori di corrente alternata. — Si possono immaginare vari altri schemi di rettificazione, per correnti alternate monofase e trifase, di cui le figg. 161, 162 danno due esempi. Lo schema della fig. 161 è molto usato anche con i *raddrizzatori ad ossido di rame*, che sono dispositivi a corrente unidirezionale, come i

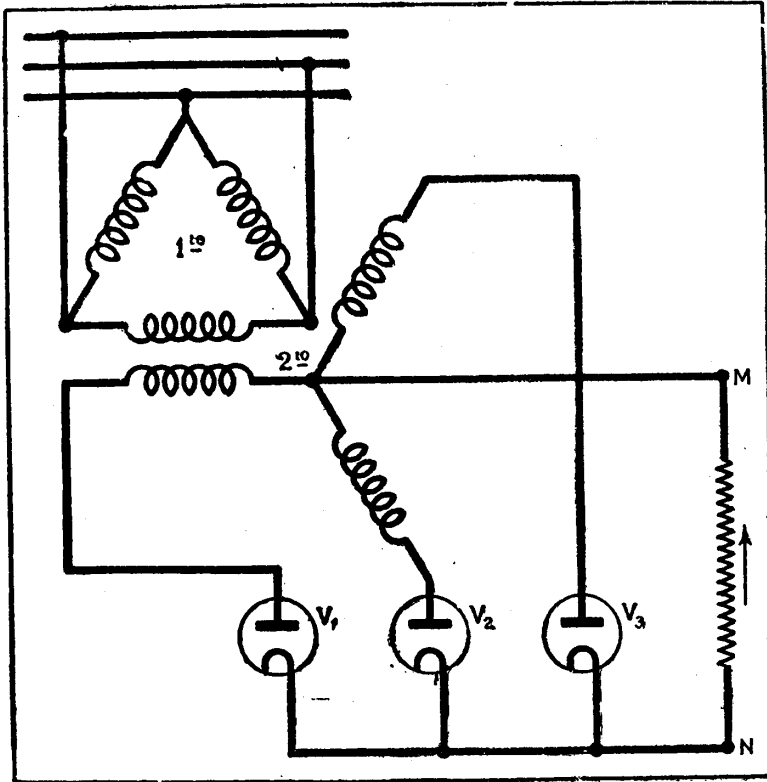



Fig. 162.

cristalli ed i diodi, ma molto più comodi di questi, specie per piccole potenze e per le tensioni basse o medie. Nello schema suddetto la corrente segue alternativamente le vie ACDB e BCDA, avendo sempre la stessa direzione nel tratto M N di utilizzazione.

Nello schema di raddrizzamento trifase (fig. 162) la corrente segue successivamente le tre valvole, passando in ciascuna di esse per un terzo di periodo ; anche qui il circuito di utilizzazione è sempre percorso nello stesso senso.

Capitolo VIII.

Valvola a tre elettrodi.

145. - Generalità. — La valvola a tre elettrodi per le sue particolari proprietà rappresenta un elemento essenziale, non solo nella tecnica R. T., dove è impiegata come generatrice, come amplificatrice e come rivelatrice, sia per la radiofonia che per la radiotelegrafia; ma anche in altri rami della tecnica e della scienza, dove è necessaria la rivelazione o l'amplificazione di fenomeni elettrici, magnetici o acustici di intensità debolissima, che sfuggono ai comuni mezzi e strumenti di esame e di investigazione. A tale riguardo può dirsi che la valvola ha dinanzi a sè un campo vastissimo di applicazione all' infuori della radio.

La valvola a tre elettrodi ha assunto diverse denominazioni, quasi tutte però poco diffuse, all' infuori di quella di audion che è ancora abbastanza impiegata; e quella di triodo, generalmente adottata. Nei capitoli seguenti si chiamerà indifferentemente triodo o valvola, intendendosi con ciò la valvola a tre elettrodi; se dovesse considerarsi quella a due elettrodi, ciò verrà detto esplicitamente.

La valvola a tre elettrodi deriva da quella a due mediante l' inserzione (realizzata per la prima volta dall'americano Lee de Forest) (1) tra placca e filamento di un terzo elettrodo, il quale, a causa della forma sua più comune, prende il nome di *griglia*. Questa modificazione di struttura implica un funzionamento molto diverso. I tre elettrodi prendono anche altri nomi, che corrispondono alla loro funzione, e cioè: *catodo* il filamento; *anodo* la placca; *elettrodo di regolazione o di controllo* la griglia.

Anche nella valvola a tre elettrodi si sfrutta la corrente elettronica dovuta all'emissione del filamento ed alla attrazione della placca; la griglia, trovandosi sul percorso della suddetta corrente, serve per regolarla, permettendone il passaggio, oppure ostacolandolo in misura più o meno ampia, a seconda delle condizioni elettriche in cui si trova la griglia stessa.

Il *filamento* può essere rettilineo, oppure ripiegato a V; speciali dispositivi si hanno talvolta per evitare deformazioni causate dall'allungamento dovuto al riscaldamento. Il filo se è di tungsteno viene mantenuto ad alta temperatura

(1) Lee de Forest (Jowa (S. U. A.) 1873 - vivente).

(bianco-splendente); spesso però è di molibdeno o di platino, e viene mantenuto a temperatura relativamente bassa (rosso ciliegia); ma è allora ricoperto di sali speciali (es. ossidi di torio, calcio, bario, stronzio, ecc.) che emettono con maggiore intensità gli elettroni. I filamenti di questa specie diconsi anche catodi di Wenhelt o ad ossidi, secondo il modo di fabbricazione. Le valvole a tungsteno richiedono una corrente più intensa per l'accensione, ed hanno una emissione elettronica più ridotta; esse perciò sono pressochè abbandonate per la ricezione e la piccola trasmissione; sono usate ancora per le grandi trasmittenti, a ragione della maggiore robustezza del filamento. In altri tipi di valvole, accese con corrente alternata, il filamento incandescente non funziona da sorgente di elettroni, ma semplicemente da riscaldatore del vero catodo che è costituito in questo caso, ad es., da un cilindretto metallico rivestito di ossidi, e nel cui interno passa, isolato, il filamento riscaldatore, percorso dalla c. a.

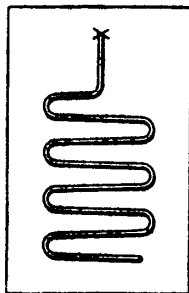
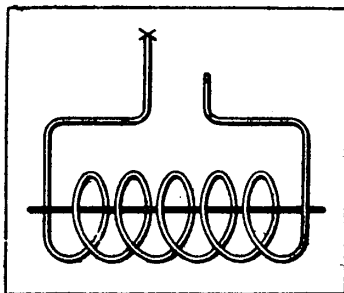
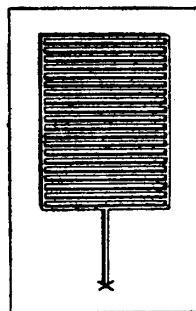



Fig. 163. Fig. 164. Fig. 165.

La *placca* può avere la forma di una piastrina affacciata al filamento; ma più spesso è un cilindretto metallico di diametro e di altezza adeguati; od una piastrina piegata ad U sopra il filamento. È in genere di nichelio per le valvole riceventi; di molibdeno o di tungsteno per quelle trasmittenti.

La *griglia* è, a seconda dei casi, ed in relazione con la forma del filamento e della placca, o un serpentino di filo, o una spirale di filo coassiale alla placca, o una vera e propria reticella metallica, o una piastrina forata, o una graticola; essa pure è generalmente di nichel, per le valvole riceventi; di platino, o di molibdeno, o di tungsteno per le trasmittenti. Le figure 163, 164, 165 rappresentano le diverse particolarità ora accennate.

Il bulbo può assumere diverse forme; le più comuni sono quelle a sfera e cilindrica.

In taluni tipi di valvola la placca e la griglia (fig. 166) comunicano con l'esterno attraverso il vetro del bulbo (valvola a corno) e il filamento attraverso il peduncolo; più generalmente tutti e tre gli elettrodi hanno l'uscita attraverso il peduncolo; e in tal caso questo è a quattro spine: due per i capi del filamento; una per la griglia ed una per la placca. Per indicare in modo rapido e

incontrovertibile gli elettrodi e permettere l' inserzione rapida ed esatta della valvola nei circuiti si hanno dispositivi speciali (spine di diverso diametro; oppure spine disposte ai vertici di un quadrilatero anzichè di un quadrato (fig. 167), oppure conduttori o bottoncini colorati – in genere verde per la griglia, rosso per la placca –). I peduncoli più usati sono quello francese (fig. 167), quello americano (fig. 168), e quello tedesco (169).

Si hanno valvole di diverse dimensioni: quelle più piccole servono esclusivamente per la ricezione, poichè possono sopportare solo piccolissime energie; altre più grandi possono impiegarsi sia per la ricezione che per la trasmis-

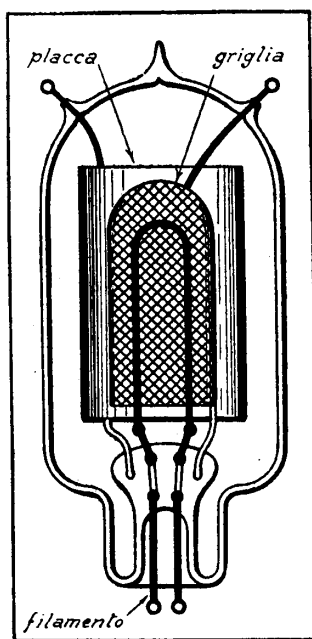
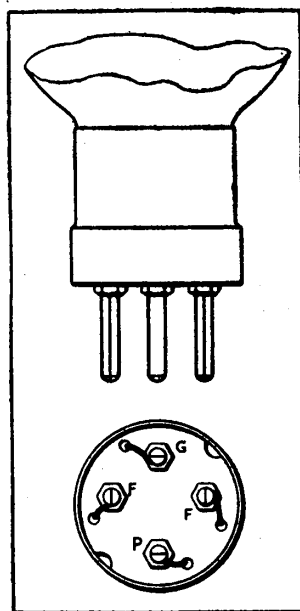



Fig. 166.

Fig. 167.

sione, in quest'ultimo caso potendosene anche disporre varie in parallelo, come si vedrà in seguito. Quelle di maggiori dimensioni servono esclusivamente per la trasmissione. In questi ultimi tempi se ne sono costruite per potenze notevoli (500 watt; 3, 5, 10, 100 Kw). In taluni tipi di triodi, specie trasmittenti, si hanno due o tre filamenti, dei quali uno solo è in opera; gli altri essendo di riserva, da impiegarsi quando il primo si fosse fulminato. I triodi di grande potenza sono ad anodo raffreddato con circolazione d'acqua; altri sono smontabili (Holweck). Nel caso di grandi potenze è impiegato quasi esclusivamente il molibdeno per la placca e la griglia; e il bulbo o almeno talune parti sono in quarzo, anzichè in vetro.

146. - Elementi che influiscono sul funzionamento della valvola a tre elettrodi. — Oltre al circuito di accensione, si possono considerare due circuiti (fig. 170): quello di placca, fra la placca ed il filamento, detto anche circuito anodico; e quello di griglia fra la griglia ed il filamento, detto anche circuito di regolazione. Il funzionamento della valvola s'impernia sull'azione regolatrice che la griglia ha sulla emissione elettronica e sulla corrente anodica. Hanno perciò speciale importanza nel funzionamento della valvola gli elementi che influenzano la emissione degli elettroni e l'azione regolatrice suddetta, e cioè:

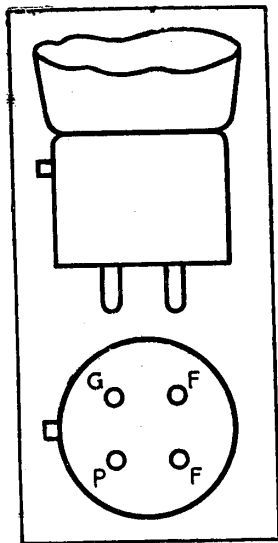



Fig. 168.

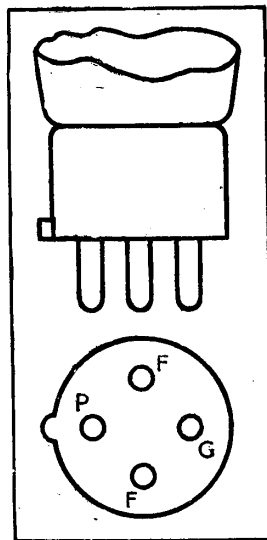



Fig. 169.

1° forma, dimensioni e distanze reciproche dei tre elettrodi;

2° natura del filamento e sua temperatura di accensione (dipendente dalla corrente che l'attraversa e quindi dalla tensione applicata);

3° grado di vuoto;

4° tensioni applicate alla griglia ed alla placca, rispetto al filamento.

Dell'influenza di alcune di queste particolarità si è già accennato a proposito della valvola a due elettrodi. Per ciò che riguarda il grado di vuoto, in tutto quanto si dirà in seguito si intenderà che si tratti di valvola a vuoto molto spinto, a meno che non sia detto esplicitamente il contrario.

147. - Interdizione e saturazione. — Da quanto si è detto nei paragrafi precedenti, nei riguardi della valvola a due elettrodi, risulta che con filamento incandescente e con placca portata ad un potenziale positivo rispetto al filamento, si determina una corrente elettronica tra il filamento e la placca, la cui intensità dipende dalla f. e. m. positiva applicata alla placca stessa e dalla temperatura

del filamento, poichè da questi elementi dipende la emissione più o meno intensa degli elettroni.

La presenza della griglia tra il filamento e la placca modifica il campo elettrico in vicinanza del filamento, e di conseguenza modifica il flusso degli elettroni. Un potenziale positivo applicato alla griglia aumenta il campo positivo prodotto dalla placca, e quindi accelera il movimento degli elettroni (che sono negativi); un potenziale negativo applicato alla griglia contrasta il campo della placca, e quindi ostacola il movimento, e può anche impedirlo completamente, se il potenziale negativo della griglia è abbastanza alto per annullare il campo della placca. In tali condizioni il circuito di placca non è più percorso da corrente, e si comporta come se fosse aperto od avesse resistenza infinita. Basta però riportare il potenziale della griglia a valori sufficientemente positivi, perchè si riattivi immediatamente la corrente nel circuito di placca. Si può dunque dire che:

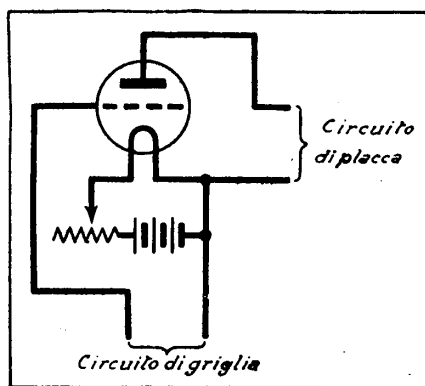



Fig. 170.

per ogni valore del potenziale positivo applicato alla placca, e per una data temperatura di accensione del filamento, esiste un determinato valore del potenziale negativo attribuito alla griglia che annulla la corrente anodica. Tale valore è detto *potenziale di griglia d' interdizione.*

Se la griglia assume potenziali più negativi di quello d' interdizione, nessuna corrente circola nella placca. Se assume invece potenziali più positivi di quello di interdizione, e se la placca ha un potenziale positivo, la corrente di placca assume valori continuamente crescenti, fino ad un determinato valore massimo che corrisponde alla massima emissione di elettroni, compatibile con il potenziale applicato alla placca, e con la temperatura ed il diametro del filamento. Tale corrente è detta *corrente di saturazione,* ed il potenziale di griglia relativo è detto *potenziale di saturazione.*

Se però il potenziale della placca non è molto elevato, allora il fenomeno si complica, perchè, per valori crescenti del potenziale di griglia, questa assorbe una parte sempre maggiore di elettroni, i quali perciò non raggiungono la placca. Il concetto della tensione globale della valvola permette di intendere meglio il fenomeno ora accennato.

148. - TENSIONE GLOBALE. — La teoria e l'esperienza hanno dimostrato che la emissione, la saturazione e l' interdizione non dipendono dal valore di uno solo dei potenziali di griglia e di placca, ma dal valore di entrambi, o meglio da un potenziale fittizio, detto composito o globale, che si ottiene sommando il potenziale di placca con quello di griglia, moltiplicato quest'ultimo per un nu-

mero caratteristico per ogni tipo di valvola, chiamato *fattore di amplificazione* (μ), e di cui si parlerà in seguito. Si può dire per ora che la emissione del filamento dipende quindi dal valore del potenziale globale:

$$U = V_p + \mu V_g. \qquad (60)$$

Si può cioè aumentare V_p e diminuire V_g o viceversa, ed ottenere la stessa emissione, purchè la tensione globale U rimanga invariata.

È però da notare che nel triodo (a differenza del diodo) l'emissione del filamento non coincide sempre con la corrente di placca, perchè una parte della emissione può essere assorbita dalla griglia. A parità di tensione globale si ha la stessa emissione; ma variando le componenti V_p e V_g varia la distribuzione della emissione, e precisamente, a misura che aumenta una delle due rispetto all'altra, la corrispondente corrente aumenta. Se quindi prepondera V_p, prepondera la corrente di placca, e viceversa, se prepondera V_g. La somma delle due correnti è sempre uguale alla emissione, la quale dipende solamente dalla tensione globale. Di ciò si parlerà ancora al nr. 157.

149. - Collegamenti della griglia. — Il circuito di griglia o circuito di regolazione è disposto tra la griglia ed il filamento; e l'attacco può essere fatto o sul polo negativo della batteria di accensione, oppure sul polo positivo. Il filamento non ha in tutti i punti lo stesso potenziale, poichè lungo di esso si verifica una caduta di tensione eguale alla f. e. m. di accensione (di $4 \div 6$ volta per le valvole riceventi; di $12 \div 40$ volta per le valvole di trasmissione); di conseguenza, se la connessione della griglia è all'estremo negativo dell'accensione, la griglia acquista un potenziale negativo rispetto a tutti i punti del filamento, e ciò, come si vedrà, è conveniente per il funzionamento in amplificazione e generazione; se invece la connessione è fatta all'estremo positivo, la griglia sarà positiva rispetto a tutti i punti del filamento, e questo funzionamento può essere utile in alcuni casi di triodo rivelatore.

Nel caso in cui la griglia non fosse collegata e cioè fosse isolata, il comportamento della valvola potrebbe sembrare prossimo a quello di un diodo, mentre invece ne risulta diverso, perchè disturbato dalla presenza della griglia, la quale sotto l'influenza delle cariche alternative di placca assume potenziali variabili, ed attira degli elettroni ogni volta che il suo potenziale diventa positivo rispetto al filamento. Con ciò essa si carica di elettroni che ne abbassano gradatamente la tensione, il che fa diminuire la emissione. Tale comportamento si complica se esistono tracce di gas, poichè la corrente ionica che ne deriva e di cui si è detto al nr. 133, può scaricare la griglia che si fosse caricata di elettroni.

Se si unisce la griglia alla placca (fig. 171) allora il triodo ha un funzionamento identico a quello di un diodo, e può essere impiegato come tale.

150. - Corrente di griglia. — Si supponga ora di inserire tra filamento e griglia una batteria, con il polo positivo alla griglia e il negativo al filamento, in modo che la prima abbia un potenziale positivo rispetto al secondo.

In tale caso gli elettroni, attratti dall'azione concordante della placca e della griglia, acquistano maggior velocità; una parte di essi, e specialmente quelli emessi in corrispondenza dei fori della griglia, oltrepassano la griglia stessa, arrivano alla placca, e per effetto della f. e. m. esistente nel circuito di placca sono istradati in tale circuito, che percorrono completamente fino a raggiungere ancora il filamento, per essere riemessi dal medesimo; essi costituiscono la corrente anodica o di placca.

Una parte degli elettroni però, specialmente quelli emessi in corrispondenza dei fili della griglia, saranno attirati dalla tensione positiva di questa, e per effetto della f. e. m. applicata alla griglia verranno istradati nel circuito di questa, percorrendolo completamente, fino a raggiungere ancora il filamento. Si ha così una corrente di griglia dovuta agli elettroni che sono attirati e messi in moto dalla f. e. m. positiva applicata a tale elettrodo, analogamente a quanto si verifica nel circuito di placca. La corrente di griglia, come quella di placca, esiste solo quando la griglia è positiva rispetto al filamento, poichè solo allora essa può attirare gli elettroni. Normalmente tale corrente è molto meno intensa di quella di placca, sia perchè la f. e. m. applicata alla griglia è di solito minore di quella applicata alla placca, sia perchè la conformazione esile della griglia può arrestare solo una piccola parte degli elettroni, i quali perciò andranno in massima a finire sulla placca. Si può però facilmente ottenere che la corrente di griglia superi quella di placca, bastando all'uopo che la tensione positiva del primo elettrodo sia molto maggiore di quella della placca.

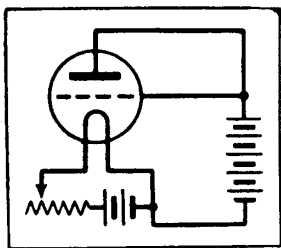



Fig. 171.

Come già detto, la corrente emessa dal filamento dipende sempre dalla tensione globale; ma secondo che prepondera una delle due tensioni, di placca o di griglia, prepondera la corrente della prima, oppure quella della seconda, restando sempre che la somma delle due è uguale alla corrente emessa.

151. - Campo elettrico nelle valvole. — Quanto sopra si può tentare di rappresentare con schemi (1) come quelli delle figg. 172, 173, 174, 175, in cui F è il filamento; G sono le sezioni dei fili di griglia; P è la sezione della placca. Nelle figure sono indicate le linee di forza elettrica esistenti fra gli elettrodi. Per tutte e quattro le figure la placca è supposta positiva rispetto al filamento, ammettendola collegata al positivo della batteria anodica. La fig. 172 si riferisce al caso della griglia caricata negativamente al di là del potenziale di interdizione: le linee di forza uscenti uniformemente dalla placca si manten-

(1) Eccles, *An investigation of the internal action of a triode valve.*

gono parallele per un certo tratto, poi, sotto l'azione delle cariche negative della griglia, deviano verso di questa. La zona tra filamento e griglia è libera di linee di forza della placca, ed è percorsa dagli elettroni che escono dal filamento e sono respinti dalla griglia; nessun elettrone raggiunge la placca. La fig. 173 corrisponde al caso in cui la griglia, essendo collegata al filamento (polo negativo), ha acquistato la tensione di questo; si

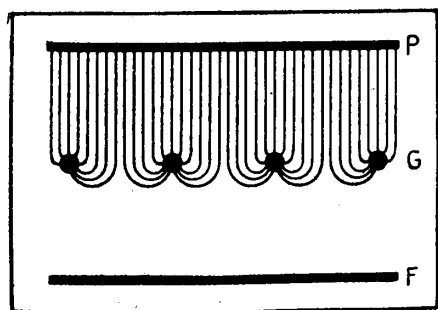



Fig. 172.

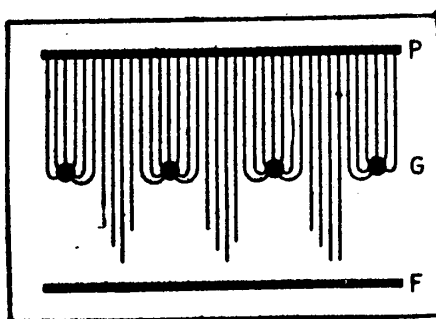



Fig. 173.

suppone che lungo il filamento non ci sia variazione di potenziale. Le linee di forza uscenti uniformemente dalla placca deviano in massima parte verso i fili di griglia, poichè questi sono più vicini che non il filamento; tuttavia alcune linee di forza mediane tra due fili vicini, possono oltrepassare la griglia, e si dirigono verso il filamento, raggiungendo alcuni elettroni emessi da questo. Tali elettroni seguendo le linee di forza, sono quindi avviati verso la placca.

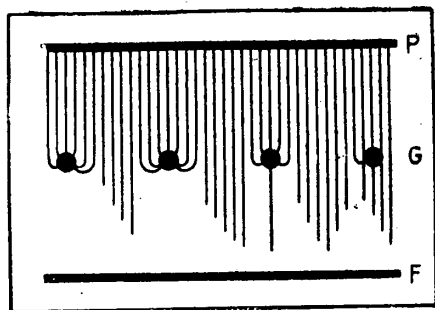



Fig. 174.

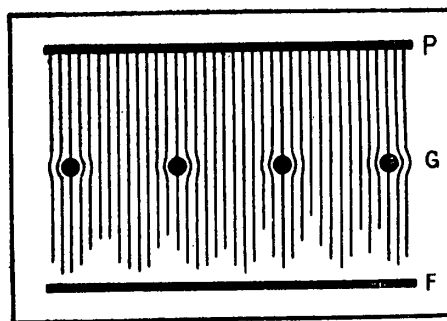



Fig. 175.

Se si tien conto della variazione di potenziale lungo il filamento, la distribuzione delle linee di forza si modifica (fig. 174), poichè le d. d. p. tra i fili della griglia ed i varii punti del filamento sono progressivamente decrescenti, in corrispondenza dei tratti più positivi del filamento. Le linee di forza della placca si dirigono perciò progressivamente in maggior quantità sui fili di griglia, che sono più negativi del filamento, e non arrivano più a questo.

La fig. 175 per ultimo corrisponde al caso della griglia munita di batteria positiva, sufficiente per renderla positiva rispetto a tutti i punti del filamento. In tale caso anche

dalla griglia partono delle linee di forza dirette verso il filamento, e quindi anche su di essa arrivano degli elettroni, mentre le linee partenti dalla placca (che si suppone sempre più positiva della griglia) arrivano ancora, ma in minor quantftà, su i fili della griglia, e si addensano perciò negli intervalli tra i fili stessi, raggiungendo gli elettroni emessi dal filamento, i quali, seguendo dette linee, vanno alla placca. Anche in questo caso, la distribuzione non è uniforme per tutto lo sviluppo del filamento, causa la caduta di potenziale lungo di esso.

Nel caso del filamento rettilineo, con griglia a serpentino intorno al filamento, e placca cilindrica coassiale al serpentino, il ragionamento condotto finora va ripetuto in tutte le direzioni intorno al filamento, essendo radiale e convergente il campo creato dalla placca.

È importante notare che mentre le linee di forza che vanno dalla placca al filamento danno luogo al trasporto degli elettroni, quelle che vanno dalla placca alla griglia non producono tale movimento, poichè la griglia, essendo fredda, non emette elettroni. Le sole linee che trasportano elettroni sono quindi quelle che vanno a finire intorno al filamento, perchè solo intorno a questo, per effetto della sua elevata temperatura, esistono elettroni emessi, e liberi di seguire le forze elettriche dell' ambiente.

Altre cause che intervengono a complicare il campo elettrico interno della valvola, ma che si possono trascurare in una prima indagine, sono l' effetto magnetico della corrente d' accensione, la diversa velocità degli elettroni emessi, e la differente temperatura dei vari punti del filamento. Quest' ultima è causata dal raffreddamento delle parti estreme di esso, dovuto sia alla conduttività calorifica dei supporti, sia alla maggior facilità dell' irradiazione di calore in confronto alla parte centrale, la quale è inoltre sottoposta al calore riflesso della placca, e quindi si mantiene ad una temperatura più elevata.

152. - CARATTERISTICA DELLA VALVOLA. — Per la valvola a tre elettrodi, come per quella a due, si possono ricavare le curve caratteristiche mediante le quali si mettono in evidenza le relazioni esistenti fra le varie tensioni e correnti. Nei triodi si può ad es. fare una caratteristica che rappresenta la corrente anodica, oppure quella di griglia o la complessiva, al variare della tensione di griglia, e per ogni determinata tensione di placca e di filamento (e quindi per ogni temperatura d'accensione).

La caratteristica più usata normalmente rappresenta i valori della corrente di placca in funzione del potenziale di griglia. Per una determinata accensione del filamento si ha una curva caratteristica in corrispondenza di ogni valore di V_p. Dando a V_p diversi valori, si ottengono varie curve, il cui complesso costituisce una *famiglia di caratteristiche*, le quali rappresentano il comportamento complessivo della valvola.

Il tracciamento sperimentale della curva si può fare disponendo i circuiti come nella figura 176; e cioè nel circuito di placca si inseriscono la batteria ad alta tensione, un voltmetro (V_p) ed un milliampermetro (i_p); sul circuito di griglia si intercala un dispositivo potenziometrico ad inversione (1) con un voltmetro V_g.

Per ogni valore del potenziale V_g che per mezzo del potenziometro viene applicato alla griglia, si legge la corrente di placca i_p al milliamperometro.

(1) Vedi nr. 274.

I valori di V_g si portano come ascisse su un asse orizzontale e quelli di i_p come ordinate sulle verticali corrispondenti. Riunendo gli estremi delle verticali così determinati si ha la curva caratteristica (fig. 177), che è detta *statica,* perchè corrisponde alla condizione di riposo o di regime, in cui le tensioni e le correnti sono costanti e continue.

Fig. 176.

Dall'esame di queste caratteristiche risulta che quando, come nel caso della figura, la tensione di placca è relativamente alta, la curva è composta di tre segmenti quasi rettilinei, raccordati con due gomiti.

Le verticali corrispondenti ai punti di mezzo dei due gomiti, al punto di mezzo del segmento ripido che li collega, al punto dove si inizia la curva sull'asse V_g ed al punto dove principia il terzo segmento rettilineo, dànno successi-

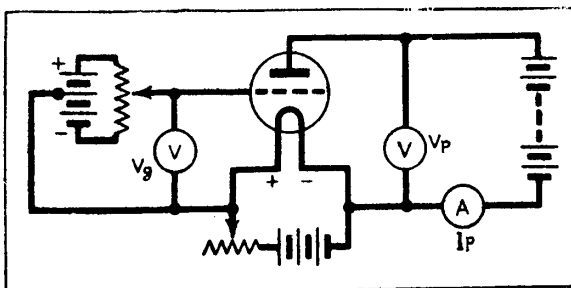
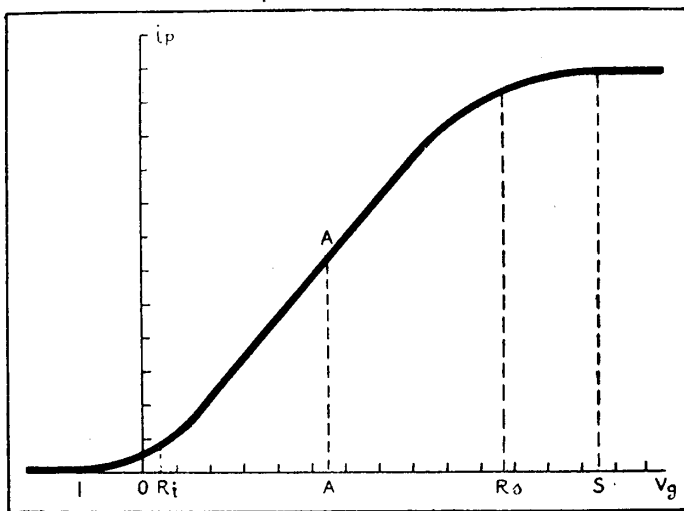



Fig. 177.

vamente i valori del potenziale di griglia che corrispondono ai diversi funzionamenti della valvola e che ripetono quelli già visti per i diodi (vedi nr. 139). Si ha cioè: in I il potenziale di interdizione; in R_i e R_s i potenziali corrispondenti all'azione raddrizzatrice o rivelatrice; ed in A il potenziale relativo all'azione amplificatrice, sulla quale si basa, come si vedrà in seguito, anche l'azione generatrice.

La forma della caratteristica varia sensibilmente da quella considerata, quando la tensione di placca non è preponderante su quella di griglia, come si vedrà in seguito.

153. - INFLUENZA DEL POTENZIALE DI PLACCA. — La curva della figura 177 si è ottenuta mantenendo il potenziale della placca fisso e il filamento ad una temperatura normale. Se si rifà la caratteristica dopo aver aumentato detta tensione, si ottiene una curva quasi parallela alla precedente, ma spostata verso l'alto e verso sinistra. Con potenziale di placca minore, la curva si sposta verso

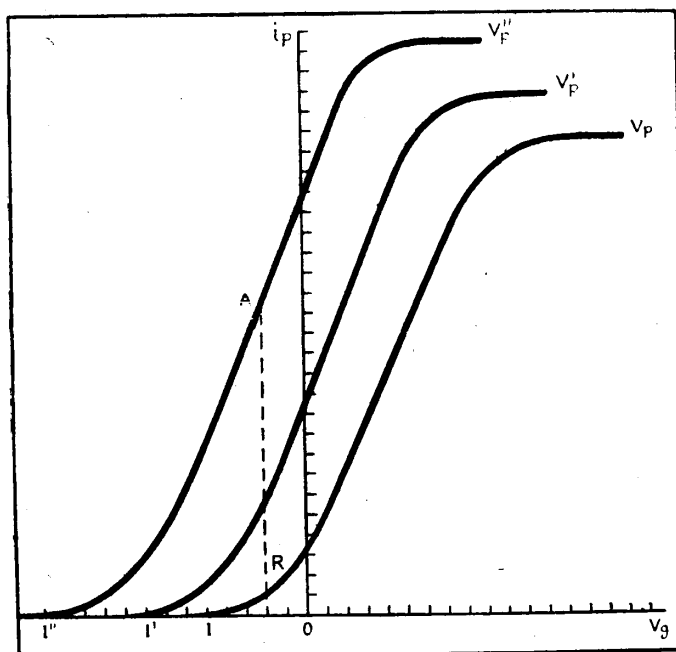



Fig. 178.

destra (fig. 178). Il potenziale d'interdizione aumenta dunque o diminuisce in valore assoluto, con l'aumentare od il diminuire della tensione di placca, come si è già accennato ai nr. 145 e 146. Questo spostamento è una conseguenza della maggior corrente elettronica che si ottiene aumentando il potenziale di placca, e quindi il campo elettrico della valvola: le ordinate della curva risultano così tutte superiori, ed essendo necessario un potenziale negativo maggiore sulla griglia per opporsi al maggiore campo prodotto dalla placca, la curva deve spostarsi verso sinistra.

Per effetto dello spostamento delle caratteristiche si può verificare come ad un medesimo potenziale attribuito alla griglia corrisponde, per una data tensione di placca V_p, il gomito R della curva, e cioè il funzionamento del triodo come

rivelatore; e per una tensione V''_p, maggiore di V_p, il centro A del tratto rettilineo della curva, e cioè il funzionamento come amplificatore.

Se si considerano tensioni positive di griglia piuttosto forti, le curve caratteristiche cessano di essere parallele, pur essendo sempre superiori quelle che corrispondono alle tensioni di placca più elevate. Se invece si considerano solo tensioni di griglia poco positive, o meglio negative, allora, essendo trascurabile la corrente di griglia, quella di placca comprende tutta la corrente emessa dal filamento, il che risulta dal fatto che le curve caratteristiche sono tutte fra loro parallele. La figura 178 conferma quanto si disse al n. 147 circa la dipendenza dal potenziale globale, della corrente emessa, e cioè dalla tensione $U = V_p + \mu V_g$.

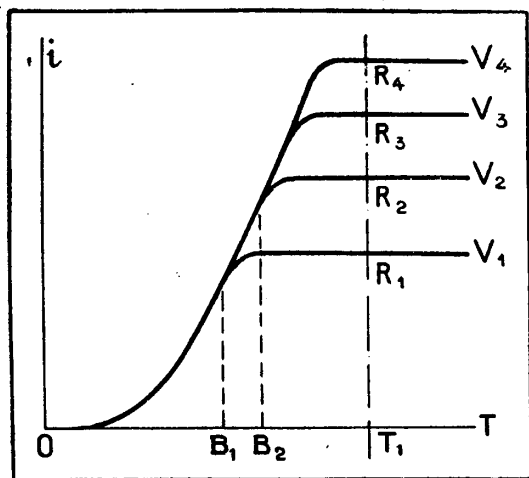



Fig. 179.

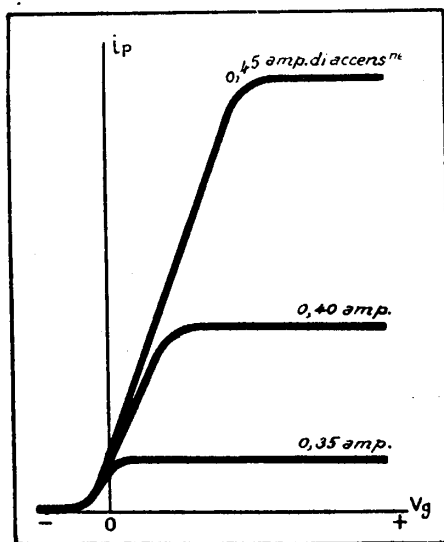



Fig. 180.

Se infatti si traccia una orizzontale M N che intersechi le caratteristiche in tre punti P, Q, S (non segnati in figura), corrispondenti a diverse tensioni di griglia e di placca, ma a uguali correnti anodiche si può verificare, nei casi concreti, che per i tre punti suddetti la tensione globale $U = V_p + \mu V_g$ è uguale; ad eguale tensione globale corrisponde dunque eguale corrente emessa, ed eguale corrente anodica, se la corrente di griglia è nulla.

154. - Influenza della temperatura del filamento. — Se si considera globalmente la corrente emessa dal filamento (e cioè la somma della corrente di placca e di quella di griglia) si rileva che essa dipende dalla temperatura, del filamento, oltre che dalla tensione globale U. Analogamente a quanto si è visto per i diodi (nr. 140), la corrente emessa cresce col crescere della temperatura fino ad un certo valore T, dipendente dalla tensione globale (fig. 179),

dopo di che non cresce più, per effetto della carica spaziale dovuta ad insufficiente tensione globale. Analogamente, a parità di temperatura, la corrente emessa cresce al crescere della tensione globale, fino ad un certo valore di essa, dopo di che non aumenta più, per insufficienza della temperatura (vedi fig. 154).

Se invece della corrente complessiva si considera solo quella anodica, corrispondente ad una tensione di placca fissa e piuttosto alta, e si fanno variare la tensione di griglia e la temperatura del filamento, si ottiene un diagramma come nella figura 180, dal quale risulta che, solo per valori sufficientemente alti della tensione di griglia, e quindi della tensione globale, l'aumento della corrente di accensione fa crescere la corrente anodica. Per temperature crescenti e tensione anodica fissa, la saturazione si ottiene con tensioni di griglia (e quindi globali) sempre maggiori, e la corrente di saturazione prende valori sempre maggiori.

La figura 180 conferma che non sempre l'aumento della temperatura del filamento fa crescere la corrente anodica. Ad es: per tensioni di griglia negative o poco positive, risulta dalla figura 180 che variando la corrente d' accensione da 0,35 a 0,45 ampere, la corrente anodica non varia. Ciò dipende dal fatto che con tensioni di griglia troppo piccole, la tensione globale non è sufficiente per neutralizzare la carica spaziale.

È normalmente preferibile che la valvola lavori in queste condizioni; cioè che abbia il filamento a temperatura sufficientemente alta, affinchè la corrente anodica varii per effetto delle tensioni applicate alla griglia ed alla placca, e con tensione globale non troppo alta, affinchè la corrente non varii pel variare della temperatura del filamento. Se fosse altrimenti, la valvola sarebbe insensibile alle tensioni applicate e sensibile invece alla corrente di accensione, e non potrebbe servire che per scopi specialissimi.

155. - INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E FISICHE. — Le caratteristiche da considerare sono fra le altre: la natura ed il diametro del filamento; il diametro dei fili di griglia e l'intervallo fra i medesimi, oppure le dimensioni dei fori, nelle griglie a fori; la distanza relativa fra gli elettrodi; il grado di vuoto.

156. - INFLUENZA DELLA NATURA E DIAMETRO DEL FILAMENTO. — La emissione degli elettroni cresce con il crescere della temperatura: sono perciò più convenienti i metalli che possono sopportare le maggiori temperature senza fondere: tra questi il tungsteno è fra i più indicati. Anche più convenienti sono vari metalli speciali (bario, torio, stronzio, calcio), i quali hanno una emissione molto più intensa del tungsteno, anche a temperatura molto meno alta. Questi metalli, depositati su sostegni di molibdeno o di platino, sono oramai generalmente usati nelle valvole riceventi, e tendono ad estendersi anche a quelle trasmittenti.

Il diametro del filamento ha influenza sulla emissione degli elettroni, dato che la sua superficie è proporzionale a detto diametro. A parità di temperatura

un filamento di maggiore diametro, e quindi di maggior superficie incandescente, produce una corrente elettronica più intensa. Poichè però la maggiore sezione corrisponde ad una minore resistenza elettrica, così per un diametro maggiore occorrerà una corrente d'accensione maggiore, onde poter sviluppare la quantità di calore necessaria per determinare la temperatura occorrente per la voluta emissione elettronica.

A parità di corrente di accensione il filamento sottile darà una maggiore emissione di corpuscoli, poichè raggiunge una temperatura più elevata, mentre il filamento più grosso si accenderà di meno, e darà una emissione minore.

Per contro, a parità di corrente di accensione, un filamento più sottile si brucierà molto prima di un filo più grosso ; d'onde la necessità di contemperare il buon rendimento della emissione con la durata del filamento, scegliendo per ogni diametro la temperatura più conveniente, e quindi la corrente d'accensione appropriata. Se il filamento si forza, e cioè si accende più del normale, esso emetterà di più, ma durerà di meno.

157. - Influenza delle dimensioni della griglia. — Il diametro dei fili di griglia, il loro numero, e l'intervallo fra i medesimi o le dimensioni dei fori, determinano il rapporto fra il pieno ed il vuoto nella superficie della griglia. A parità di altre condizioni, quanto maggiore sarà tale rapporto, e tanto maggiore sarà la difficoltà che gli elettroni incontreranno per attraversare la griglia ; quindi, a parità di tensione di placca e di accensione di filamento, occorrerà una tensione minore di griglia per produrre l'arresto della corrente elettronica. Così pure, per determinare la massima emissione del filamento, occorrerà una minore tensione sulla griglia, se questa è molto fitta. L'opposto si verifica diminuendo i fili o aumentando i fori ; e cioè, diminuendo il rapporto fra pieno e vuoto, occorrerà aumentare il potenziale negativo di griglia, sia per avere l'interdizione che per determinare la massima emissione del filamento.

In conclusione, quanto più fitta è la griglia e tanto minore è il potenziale richiesto dalla stessa per un dato effetto ; quanto più rada è la griglia e tanto maggiore sarà il potenziale da applicare.

A parità poi di rapporto fra pieno e vuoto, se la griglia è molto vicina al filamento, (a parte che essa è soggetta a deformarsi ed anche a fondersi per l'eccessivo calore a cui viene sottoposta), il campo da essa creato si concentrerà specialmente verso i punti del catodo che sono esattamente in corrispondenza dei fili della griglia stessa ; e quindi i punti intermedi del filamento saranno liberi, e sottoposti invece al campo creato dalla placca. Perciò per modificare la corrente elettronica occorreranno maggiori potenziali di griglia. Se d'altra parte la griglia si mette troppo distante dal filamento, il campo da essa prodotto diventa troppo debole, ed anche in questo caso occorrerà quindi aumentare il potenziale sulla griglia.

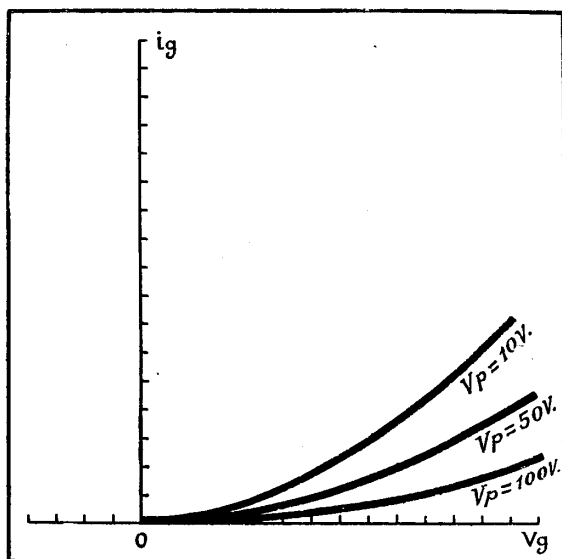
La distanza della griglia dal filamento influisce dunque in modo piuttosto complicato sull'azione della griglia.

158. - Influenza del vuoto. — Il grado di vuoto influisce nel senso che quanto più esso è spinto, e tanto maggiore sarà la tensione che si può applicare alla placca, senza che si determini la corrente ionica di cui si disse al nr. 134.

Le variazioni, che tale corrente ionica produrrebbe nelle caratteristiche della valvola, sarebbero tali da alterarne radicalmente il funzionamento ; essa deve quindi essere evitata, anche perchè il bombardamento ionico che si determinerebbe sul filamento lo deteriorerebbe rapidamente. Le valvole a vuoto molto spinto sono quindi di funzionamento più sicuro e regolare, e di maggior durata.

159. - Distribuzione della corrente elettronica fra i circuiti di placca e di griglia. — Ai nr. 147 e 148 si è già accennato che oltre alla corrente di placca, che è la più importante, si genera pure una corrente di griglia (quando questa è positiva rispetto al filamento), dovuta agli elettroni che arrivano direttamente su i fili di griglia e ne percorrono il circuito per effetto della f. e. m. applicata in questo. Poichè i corpuscoli sono attratti dalla griglia in tanta maggior quantità quanto più alto è il potenziale positivo a cui essa si trova, così la corrente di griglia cresce d' intensità con l' aumentare della sua tensione positiva.

Fig. 181.

Si può rappresentare l' andamento della corrente di griglia analogamente a quanto si è fatto per la corrente di placca, cioè con una famiglia di curve, ciascuna delle quali corrisponde ad una tensione fissa di placca, e nelle quali le ascisse sono i potenziali di griglia e le ordinate sono le correnti di griglia (fig. 181). Aumentando la tensione della placca, questa assorbe una parte maggiore della emissione elettronica, quindi la corrente di griglia diminuisce, come risulta dalla figura.

Le dette caratteristiche si iniziano per una tensione di griglia zero o leggermente positiva, e vanno poi aumentando con il crescere di v_g. Per una data tensione di placca si può disegnare la caratteristica di griglia (c) in un solo diagramma, insieme alla caratteristica di placca (b) (fig. 182), e si può inoltre costruire una terza caratteristica (a), ottenuta sommando le ordinate delle due curve : tale caratteristica totale rappresenta la corrente elettronica totale emessa dal filamento, e che si ripartisce fra i due circuiti di placca e di griglia. Quando la tensione di griglia ha raggiunto un dato valore V'_g la caratteristica di emissione raggiunge il valore di saturazione e diventa orizzontale ; a partire da tale punto, se si aumenta la tensione di griglia, cresce il numero degli elettroni che essa assorbe, e siccome il numero totale emesso non cresce, deve diminuire il numero di elettroni che raggiungono la placca. A partire dalla saturazione della caratteristica totale, la caratteristica di placca diventa quindi cadente, cioè si abbassa verso l' asse orizzontale. In definitiva quindi la corrente di placca non sarà uguale alla corrente emessa dal filamento, se non nei casi in cui la corrente di griglia è trascurabile, cioè per ten-

sioni di griglia negative o poco positive, e per tensioni di placca molto positive. Negli altri casi, la ripartizione della emissione fra placca e griglia è piuttosto complicata, pel fatto del fenomeno della *emissione secondaria*.

160. - Emissione secondaria. — Facendo infatti crescere la tensione di griglia fino a superare quella di placca, supposto che questa sia pure sufficientemente alta, per la grandissima velocità assunta dagli elettroni, sotto l'effetto combinato delle alte tensioni di placca e di griglia, questi acquistano una tale forza di urto, che, giungendo sulla placca, determinano, per effetto della loro forza viva, l' uscita di altri elettroni da questa, e ogni elettrone urtante può farne uscire un numero anche notevole. Quest'ultimi elettroni emessi, detti secondari (1), vengono poi catturati dalla griglia, per effetto del suo alto potenziale positivo. Se si parte quindi da un potenziale di placca molto minore di quello di griglia (come è possibile con il collegamento rappresentato nella fig. 183), e si aumenta gradatamente tale potenziale anodico, allora, a partire da un certo potenziale

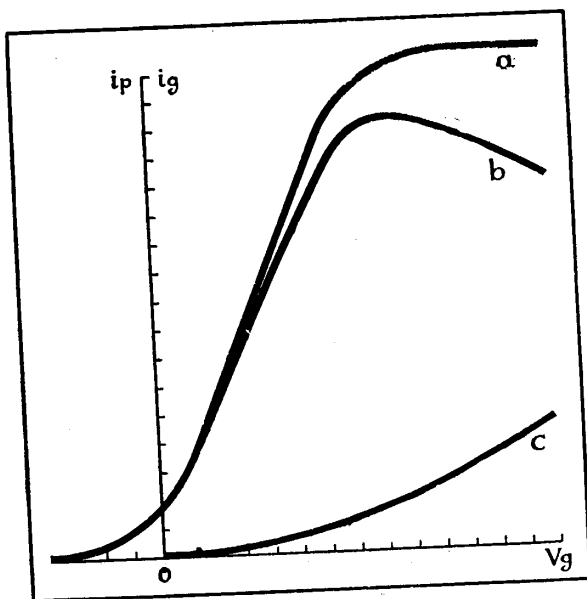



Fig. 182.

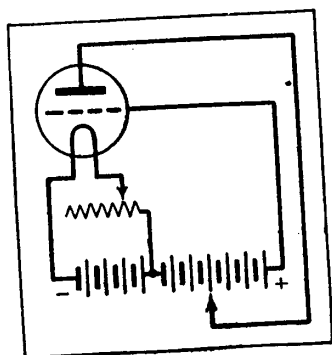



Fig. 183.

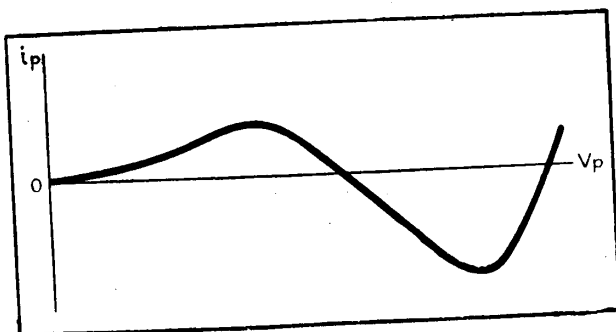



Fig. 184.

di placca sufficiente perchè si determini la emissione secondaria, la corrente anodica anzichè crescere, diminuirà, perchè la placca perderà più elettroni di quelli che riceve, come mostra la curva della fig. 184. La corrente anodica finirà però col crescere nuovamente,

---

(1) Da J. Thomson questi elettroni emessi per urto sono stati denominati *raggi delta*.

quando, crescendo ancora la tensione di placca, questa sarà diventata molto maggiore di quella della griglia. Naturalmente alla diminuzione della corrente di placca corrisponde un aumento di quella di griglia e viceversa, perchè il fenomeno avviene solo dopo raggiunta la saturazione della emissione.

In conclusione, con una forte tensione positiva di griglia, si avrà nel circuito anodico, per un certo intervallo della tensione di placca, una corrente che diminuisce al crescere della f. e. m. applicata, cioè si manifesterà nella placca una cosidetta *resistenza negativa,* che equivale ad una energia fornita, anzichè ad una energia perduta come di solito avviene per effetto della resistenza ordinaria, o positiva.

Tale proprietà è sfruttata in speciali valvole dette *dinatron,* con le quali si può mettere in oscillazione un circuito oscillante, utilizzando appunto l'energia fornita dal circuito di placca, ma nelle quali si ha una fortissima corrente di griglia.

Normalmente però i circuiti impiegati con le valvole esigono, come si vedrà in seguito, che la caratteristica di placca sia crescente e ripida, e quindi che la valvola sia impiegata molto lontano dalla saturazione, e con tensioni di griglia molto piccole in confronto a quelle di placca. Per tali piccole tensioni positive di griglia, la corrente di griglia è generalmente molto piccola in confronto a quella di placca (meno della centesima parte), e diventa anche nulla, se la griglia è negativa: essa è quindi trascurabile in un primo esame della questione. Pertanto in ciò che segue si riterrà che la corrente di griglia sia trascurabile, e perciò che la corrente di placca sia la sola che interessa il funzionamento della valvola: le caratteristiche che si considereranno saranno quindi solo quelle di placca.

161. - RESISTENZA DI PLACCA. — Se in una famiglia di caratteristiche si considera la regione nella quale le parti ripide delle caratteristiche si possono ritenere rettilinee e parallele, che è quella corrispondente alle tensioni negative della griglia, si può ricavare per tale regione una relazione molto semplice, che lega la corrente anodica i_p alle tensioni applicate alla placca V_p ed alla griglia V_g. Si ha cioè in generale:

$$i_p = a\,V_p + b\,V_g + c. \qquad (61)$$

In questa equazione, detta di Vallauri (1), a è la conduttanza di placca, b la conduttanza mutua (fra tensione di griglia e corrente di placca), detta anche pendenza della caratteristica, o semplicemente pendenza, e c una costante.

Ponendo $a = \frac{1}{r_p}$, dove r_p è detta resistenza di placca (2), si potrà scrivere:

$$r_p\,i_p = V_p + br_p\,V_g + cr_p$$

ovvero, posto $br_p = \mu$; e $cr_p = K$

$$r_p\,i_p = V_p + \mu\,V_g + K = (V_p + K) + \mu\,V_g \qquad (62)$$

(1) GIAN CARLO VALLAURI (Roma 1882 - vivente).

(2) Da taluno è anche chiamata impedenza della valvola.

Il circuito di placca si comporta quindi come un circuito di resistenza r_p in cui agisce sia la f. e m. $V_p + K$ (tensione applicata alla placca aumentata di una costante K), sia la f. e. m. supplementare μV_g, proporzionale alla tensione applicata alla griglia.

La costante K è relativamente piccola ma non sempre trascurabile. Per dare un' idea dei valori numerici di cui trattasi, si può citare ad es. che con una valvola Marconi DEL 410, accesa con 4 volta al filamento si ha :

$r_p = 8.500$ ohm, $K = -50$ volta ; $\mu = 15$;

per modo che la formula diventa :

$$8.500 \, i_p = V_p + 15 \, V_g - 50$$

essendo i_p espresso in ampere, V_p e V_g in volta.

Se la equazione di Vallauri si scrive :

$$r_p \, i_p = (V_p + \mu V_g) + K \qquad (63)$$

risulta confermato quanto si disse al nr. 148, e cioè che al variare delle tensioni applicate, la corrente di placca dipende unicamente dalla tensione globale $(V_p + \mu V_g)$, ed ha quindi sempre lo stesso valore, se si modificano V_p e V_g mantenendo costante la somma $V_p + \mu V_g = U$.

Nella equazione di Vallauri si è posto

$$\mu = r_p \, b \qquad (64)$$

da cui risulta che μ è uguale al prodotto della resistenza di placca r_p per la conduttanza mutua o pendenza b. Le due costanti b e r_p (pendenza e resistenza), che spesso si scrivono rispettivamente g e ρ, e il cui prodotto è μ, sono molto importanti ; esse si misurano la prima in ampere per volta, ma più spesso in milliampere per volta, oppure in millimho (millesima parte del mho, che è l' inverso dell'ohm), e la seconda in ohm.

162. - FATTORE DI AMPLIFICAZIONE. — Risulta dalla equazione di Vallauri che, aumentando di un volt il potenziale di V_g in una valvola in cui $\mu = 10$, si ottiene sulla corrente i_p lo stesso effetto che aumentando di 10 volta il valore di V_p. In generale μ è molto maggiore dell' unità, cosicchè tale maggiore influenza della tensione di griglia in confronto di quella di placca è una proprietà comune a tutte le valvole. Il coefficiente μ che misura tale maggiore influenza dicesi *fattore* o *costante di amplificazione* della valvola, ed è un elemento molto importante per il funzionamento di questa. Sarà bene esaminare come tale elemento possa dedursi dalle caratteristiche.

Si considerino ad esempio due caratteristiche di placca, corrispondenti a due diversi valori della tensione anodica, distanziati di 50 volta (fig. 185).

Dall' esame della figura si rileva che con 100 volt di placca ed un volt di griglia la corrente I_p è data da A'C = 10 milliampere. Aumentando di 50 volt la tensione di placca, si passa al punto A sulla caratteristica di 150 volt, e la corrente diventa AA' = 35 milliampere. La stessa corrente di 35 milliampere si poteva però ottenere lasciando 100 volt sulla placca e passando da uno a due volt (da A' a B'), cioè aumentando di un solo volt la tensione della griglia, e

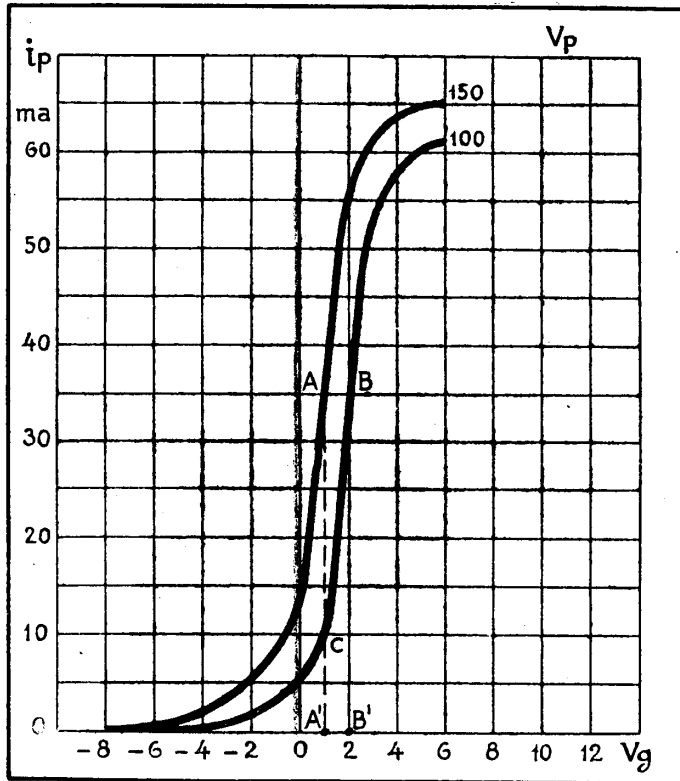



Fig. 185.

portandosi quindi in B, in cui appunto I_p = B B' = 35 m.A. Dunque un volt di aumento sulla griglia ha prodotto nella corrente di placca la stessa variazione prodotta da un aumento di 50 volt sulla placca. Il numero 50 è dunque il fattore di amplificazione della valvola considerata.

Si può osservare che nei punti A e B, disposti su una retta orizzontale, la corrente anodica è la stessa; per cui deve essere la stessa anche la tensione globale. Si ha dunque :

$$V_{pA} + \mu V_{gA} = V_{pB} + \mu V_{gB}, \text{ da cui : } \mu = \frac{V_{pA} - V_{pB}}{V_{gB} - V_{gA}}$$

$$\text{Nel caso della figura sarà: } \mu = \frac{150 - 100}{2 - 1} = 50.$$

La relazione ora citata vale però solo per punti A e. B disposti su una orizzontale nei tratti rettilinei delle caratteristiche, e cioè in corrispondenza dei valori negativi della tensione di griglia.

163. - INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE FISICHE SUL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE. — La costante d'amplificazione di una valvola dipende solo dalle sue caratteristiche fisiche e geometriche, ed è indipendente dai circuiti cui è connessa. La dipendenza da quegli elementi non è però semplice. In generale si può dire che la costante aumenta se si usano griglie più fitte, in quanto queste richiedono potenziali di griglia più piccoli per una data variazione nella corrente di placca. Anche la distanza tra griglia e filamento, o meglio il rapporto fra tale distanza e quella tra griglia e placca, influiscono nel senso che la costante di amplificazione aumenta con il diminuire di tale rapporto: cosicchè quanto più la griglia è lontana dalla placca e vicina al filamento, e tanto maggiore sarà il fattore di amplificazione, purchè la distanza fra griglia e filamento non diventi troppo piccola, nel quale caso, come si è visto al nr. 157, l'influenza della griglia viene limitata ai punti del filamento immediatamente affacciati, ed il potenziale necessario per modificare il campo sarà maggiore.

164. - POTENZA SPESA E POTENZA RICAVATA NELLE VALVOLE. — La proprietà amplificatrice della valvola dipende dal fattore di amplificazione, e si esplica con una spesa piccolissima di potenza. Si esamini infatti quali sono le potenze che si mettono in gioco nei due circuiti durante il funzionamento indicato al nr. 162, nel quale la valvola lavora come amplificatrice. Nel punto iniziale C (fig. 185), la potenza sulla placca era di 100 volta $\times$ 10 milliampere = 1 watt. Passando in B la corrente di placca è salita a 35 m.A., mentre la tensione di placca è rimasta 100 volta, e la potenza sarà quindi salita a $0{,}035 \times 100 = 3{,}5$ watt, con un aumento di 2,5 watt. Si può ora esaminare quale è l'aumento che si è dovuto dare alla potenza sulla griglia per ottenere tale aumento sulla placca. Si supponga che la corrente di griglia sia $\frac{1}{10}$ di quella di placca, come al massimo si può avere in pratica in queste condizioni. La potenza iniziale sulla griglia era: 1 volta $\times \frac{1}{10}$ 10 m.A. = 1 milliwatt. Portata su B, la potenza spesa sulla griglia è: 2 volta $\times \frac{1}{10}$ 35 m.A. = 7 milliwatt, e la differenza, cioè 6 milliwatt, è l'aumento di potenza della griglia.

Dunque aumentando al massimo di 6 milliwatt la potenza applicata alla griglia, si è ottenuto un aumento di 2.5 watt nella potenza disponibile sul circuito di placca, cioè circa 400 volte superiore. Nel funzionamento della valvola la tensione di placca non si mantiene rigorosamente costante, come si è supposto; ma il risultato non cambia sostanzialmente.

La tensione di griglia durante il funzionamento viene successivamente aumentata e diminuita, oscillando intorno ad un valore medio. Con tali variazioni si ottengono corrispondenti variazioni nella corrente di placca, e dal ragionamento precedente risulta che la potenza spesa per produrre le variazioni del potenziale di griglia è di gran lunga inferiore a quella che si ottiene dalle variazioni della corrente di placca.

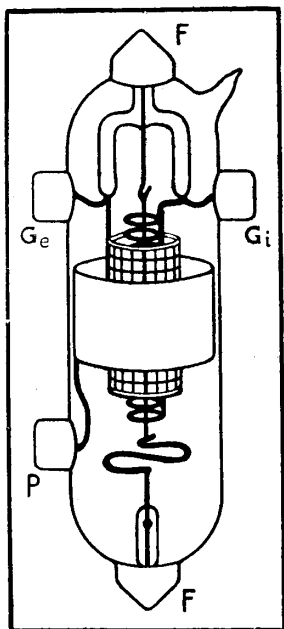



Fig. 186.

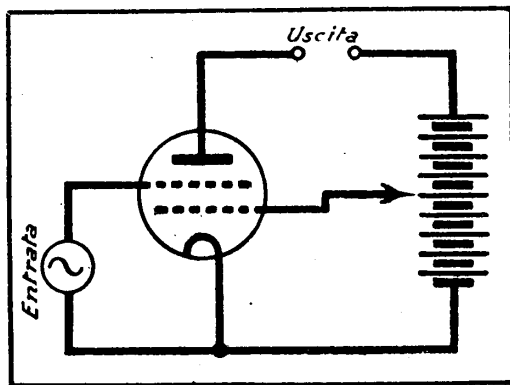
Se, come di solito avviene, la tensione della griglia si fa oscillare mantenendola nella regione dei potenziali negativi, la corrente di griglia è sempre quasi nulla, ed è quindi quasi nulla anche la potenza spesa nella griglia. Il rapporto tra potenza ricavata sulla placca e potenza spesa nella griglia può dunque essere enormemente grande. Si deve solo osservare che, se è nulla o quasi la potenza assorbita dalla griglia, una certa potenza è necessaria per procurare le variazioni della tensione di griglia nei circuiti ad essa collegati. In ogni caso la potenza ottenuta sulla placca è sempre molto maggiore di quella della griglia; ed in ciò consiste la proprietà essenziale della valvola amplificatrice e generatrice, e la funzione di rubinetto o di elettrodo di controllo che viene attribuita alla griglia.

165. - VALVOLE A DUE GRIGLIE O TETRODI. — Sono anche chiamate bigriglie e presentano oltre il filamento e la placca (sempre in forma cilindrica) due griglie: una più vicina al filamento (griglia interna), ed una vicina alla placca (griglia esterna) (fig. 186).

166. - VARI FUNZIONAMENTI DEI TETRODI. — I tipi e gli usi principali dei tetrodi sono due: il tetrodo anti-carica spaziale, il tetrodo a griglia schermante. Vi sono anche altri funzionamenti dei tetrodi, ad es: con entrambe le griglie di controllo (e cioè per due diversi circuiti); con una griglia di controllo ed una di uscita, ecc.; ma essi sono molto meno usati.

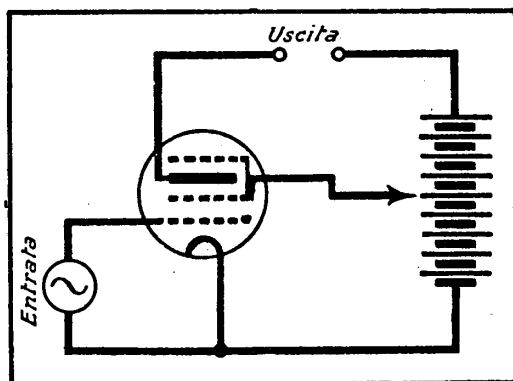
Fig. 187.

I due diversi funzionamenti ora accennati dipendono solo dal modo come le griglie sono collegate al circuito esterno e precisamente:

a) nel tetrodo anticarica spaziale, alla griglia interna si applica un potenziale positivo costante rispetto al filamento, mentre la esterna è collegata al circuito eccitatore e funziona da griglia di controllo (fig. 187);

b) nel tetrodo a griglia schermante si applica una tensione positiva (minore di quella di placca) alla griglia esterna, mentre la interna è collegata al circuito eccitatore (fig. 188).

167. - Tetrodo anticarica spaziale (fig. 187). — Per spiegare il funzionamento del tetrodo anticarica spaziale basterà osservare che la griglia interna è molto vicina al filamento, e quindi che la tensione da applicare ad essa per ottenere la corrente di saturazione è molto minore di quella che occorrerebbe applicare alla placca od alla griglia esterna; e poichè anche le tensioni di questi altri due elettrodi possono concorrere ad aumentare il campo sul filamento, così la tensione da applicare alla griglia interna per avere una emissione intensa sarà relativamente piccola. Applicando ad essa tale tensione si otterrà facilmente una emissione prossima o eguale alla emissione di saturazione. Parte degli elettroni emessi saranno allora assorbiti da questa prima griglia a potenziale positivo, ed i rimanenti, dopo attraversati i fori della medesima, verranno ritardati sia dall' azione di questa griglia, il cui campo al di fuori è contrario al movimento degli elettroni, sia dall'azione della griglia esterna di controllo, la cui tensione è sempre poco positiva o negativa. L'effetto della griglia interna consiste quindi in uno spostamento della carica spaziale negativa, che normalmente esisterebbe adiacente al filamento, verso la regione compresa fra le due griglie. Tale carica sarà così portata molto vicina alla seconda griglia (di controllo), e pronta ad obbedire alle tensioni di questa. Tutto avviene quindi come se al posto del complesso filamento - prima griglia, si trovasse un solo grosso catodo emittente, detto anche catodo virtuale. Questo tetrodo funziona perciò come un triodo le cui conduttanze (di placca e mutua) siano molto elevate. Esso perciò può dare correnti anodiche più intense dei triodi, a parità di tensione di placca, ovvero dare eguale corrente con minore tensione di placca.

Fig. 188.

Questi tetrodi sono specialmente impiegati allo scopo di ridurre le tensioni di placca (funzionano con V_p da 8 a 10 volta ed anche meno); presentano però l' inconveniente di consumare maggiore corrente dei triodi, essendo normalmente piuttosto forte l' assorbimento, che è in pura perdita, da parte della griglia interna.

168. - Tetrodo a griglia schermante (fig. 188). — Il secondo modo di funzionamento, detto a griglia schermante, ha uno scopo diverso.

La griglia esterna è portata ad un elevato potenziale positivo ($2/3 \div 1/2$ di quello di placca) per accelerare gli elettroni. Questa griglia esterna è di solito molto fitta e circonda completamente l'anodo; così essa capta la maggior parte degli elettroni emessi; una piccola parte soltanto può perciò raggiungere la placca. Gli elettroni emessi dal filamento (o primari), che incontrano lo schermo, il cui numero e la cui velocità dipendono in maniera preponderante dalle tensioni delle due griglie, possono però provocare sullo schermo stesso una emissione secondaria, e fornire così un supplemento importante di corrente anodica. Ciò avviene quando, come di solito, l'anodo è a potenziale più elevato della griglia schermante, cosicchè gli elettroni secondari emessi dallo schermo possono in gran parte dirigersi sull'anodo stesso.

La griglia schermante funziona cioè, in certo modo, da anodo rispetto al filamento e da centro di emissione rispetto alla placca; su di questa arrivano, in massima parte, elettroni secondari emessi dallo schermo.

L'elettrodo di controllo influendo sia sulla emissione che sulla velocità degli elettroni primari, influisce fortemente sulla emissione secondaria e quindi sulla corrente anodica, determinando così un valore relativamente elevato della conduttanza mutua.

Per contro la tensione della placca (che è schermata dalla griglia esterna) ha una influenza piccolissima sulla emissione primaria (e conseguentemente sulla corrente anodica), ragione per cui la resistenza della valvola è elevatissima. Il fattore di amplificazione della valvola, essendo, come nel triodo, dato dal prodotto della resistenza interna per la conduttanza mutua, risulta quindi anch' esso elevatissimo.

Nelle moderne valvole di questo tipo si è aumentato l'effetto schermante facendo la griglia schermante (detta anche *schermo*) molto fitta, e circondante quasi completamente la placca, in modo da ridurre al minimo la capacità di questa, sia verso il filamento sia verso la griglia di controllo (che è sempre molto vicina al filamento). In tal modo riesce molto grande il coefficiente di amplificazione, e molto piccola la capacità fra griglia di controllo e placca.

Mentre nelle valvole ordinarie non è possibile aumentare il coefficiente di amplificazione se non aumentando la fittezza della griglia, e quindi anche la capacità griglia-placca, nella valvola schermante, con l'aumento dell' amplificazione si ha una contemporanea riduzione delle capacità della placca verso il filamento e verso la griglia di controllo, che ne è molto vicina, e ciò per la presenza della griglia schermo.

In questo tipo di tetrodo (1) non solo vi è un notevole assorbimento di elettroni da parte della griglia schermante, ma anche una complicazione dovuta agli elettroni emessi dallo schermo per emissione secondaria. Quindi la corrente anodica risulta molto diversa dalla corrente emessa dal filamento.

---

(1) Le denominazione dei vari tipi di valvole sono parole piane: si dirà cioè diòdo, triòdo, tetròdo, pentòdo, ecc.

Le proprietà della valvola a griglia schermante sono quindi: fortissima reristenza di placca, alta pendenza o conduttanza mutua, corrente di placca molto limitata, piccolissima capacità placca-griglia di controllo, notevole corrente nella griglia schermante.

Il coefficiente di amplificazione dei tetrodi è prevalentemente funzione della tensione dello schermo, anzichè della conformazione geometrica della valvola: questa tensione assume quindi una parte importante nel funzionamento del tetrodo. A misura che detta tensione diminuisce, la resistenza di placca aumenta, l'amplificazione pure aumenta, la corrente di placca diminuisce. Per la stessa ragione anche la pendenza o conduttanza mutua dipende dalla tensione dello schermo, e diminuisce al diminuire di essa, sia perchè diminuisce la emissione termoionica, sia perchè diminuisce la emissione secondaria.

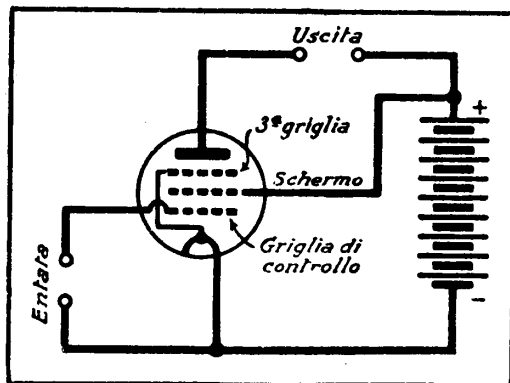



Fig. 189.

169. - PENTÒDI O VALVOLE A TRE GRIGLIE. — Da quanto detto finora risulta che la valvola schermata ha sempre una forte resistenza ed una piccola corrente anodica, e perciò non si presta come valvola di potenza, che richiede sempre una intensa corrente anodica. Per questo scopo si sono ultimamente costruiti i pentodi (1), i quali si propongono di mantenere il forte potere amplificatore della valvola a griglia schermante, con una buona corrente di placca.

A tale scopo il filamento ha normalmente una emissione più abbondante; lo schermo è meno fitto ed ha la stessa tensione della placca, (anzichè $2/3 \div 1/2$), ed inoltre una terza griglia (quinto elettrodo) poco fitta, è disposta fra la griglia schermante e la placca, ed è portata a potenziale zero, unendola permanentemente al centro del filamento (fig. 189).

Lo scopo di quest' ultimo elettrodo è quello di frenare gli elettroni troppo accelerati dallo schermo e di evitare così che, per l' eccessiva velocità, l' urto determini una emissione secondaria dalla placca allo schermo, con conseguente riduzione della corrente anodica. Questa emissione secondaria avviene effettivamente nei tetrodi, quando la tensione di placca è relativamente piccola di fronte a quella dello schermo, ed è la causa della depressione delle caratteristiche di placca nelle valvole schermate, in corrispondenza delle minori tensioni di placca (fig. 190).

---

(1) Vedi nota a pag. 186.

170. - Paragone fra triòdo, tetròdo e pentòdo. — L'effetto della terza griglia introdotta nel pentodo risulta evidente dal confronto delle caratteristiche del pentodo e del tetrodo.

Nella figura 190 sono rappresentate due caratteristiche normali di funzionamento per un triodo, per un tetrodo e per un pentodo, corrispondenti alle tensioni - 1 e zero volta della griglia di controllo.

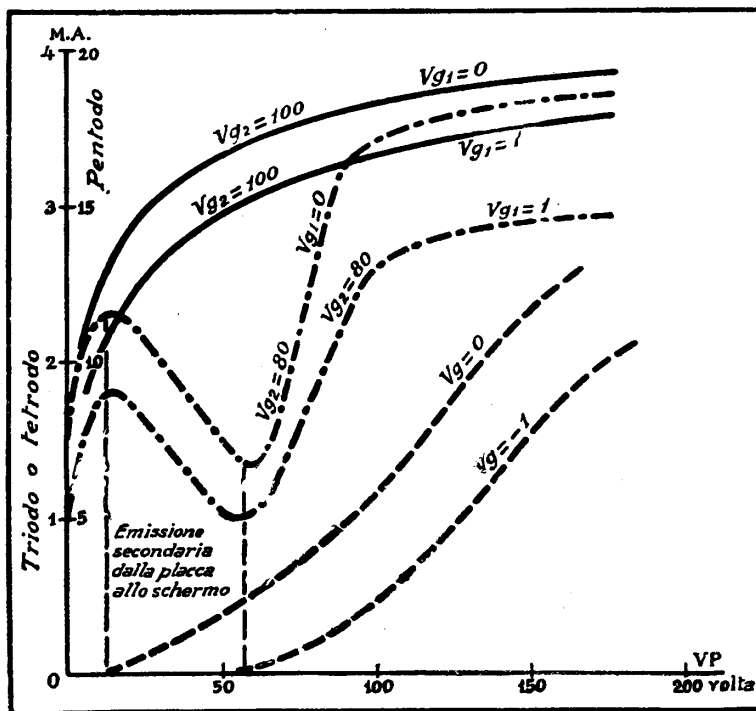
Sono state prese come ascisse le tensioni anodiche v_p e come ordinate le correnti anodiche i_p. Per il pentodo la scala delle ordinate è 5 volte maggiore. Dalla figura si

triòdo = tratti; tetròdo = tratti e punti; pentòdo = linea intera.
Le tensioni della griglia di controllo sono 0 e -1.

Fig. 190.

vede che nel triodo (curve a tratti) la corrente di placca dipende fortemente dalla tensione di placca. Nel tetrodo (curve a tratti e punti) si ha un andamento capriccioso per tensioni di placca minori di quella dello schermo, mentre per valori maggiori (quelli di funzionamento normale), la tensione di placca ha pochissima influenza sul valore della corrente anodica.

Nel pentòdo (curve a linea piena) la caratteristica è più regolare e la parte rettilinea è più estesa, e ciò per l'assenza della emissione secondaria da parte della placca, anche quando questa ha tensione minore dello schermo, ottenuta per effetto della terza griglia collegata al filamento.

Per contro l'amplificazione è minore nel pentodo che nel tetrodo, sia perchè una parte maggiore dell'emissione è assorbita dallo schermo, sia perchè lo schermo é meno fitto. Questa seconda ragione poi fa sì che nel pentodo sia più forte la capacità interna placca-griglia di controllo, cosicchè il suo impiego non è consigliabile quando occorra piccola capacità interna.

Nella fig. 191 sono riportate alcune caratteristiche di un tetrodo a griglia schermante con ascisse v_g e con parametri V_{gs} e V_p (V_{gs} = tensione griglia schermante).

Da essa si vede che al crescere della tensione dello schermo:

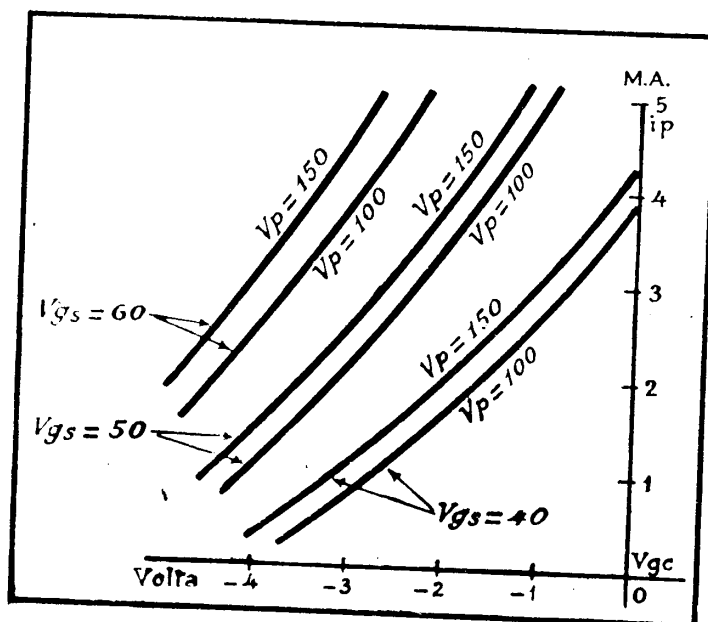



Fig. 191.

1.° - cresce la pendenza delle caratteristiche e quindi la conduttanza mutua;

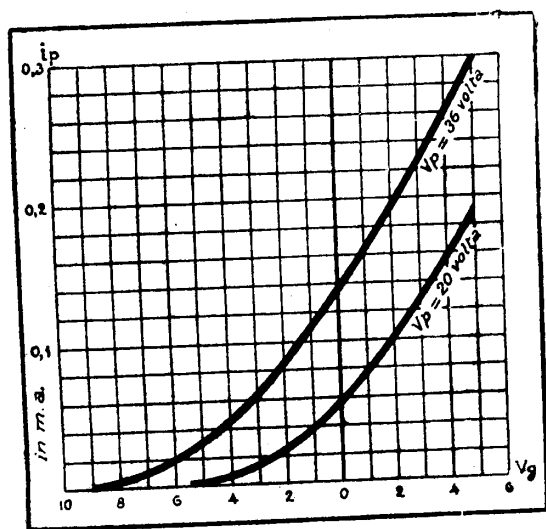
2.° - le caratteristiche relative a due medesime tensioni di placca si allontanano; quindi diminuisce il fattore di amplificazione.

Per dare una idea dei valori delle costanti g, r_p, μ nelle valvole schermate si può citare che una schermata Marconi S 215 con lo schermo a 80 volta e tensione anodica max 150 volta ha: fattore di amplificazione $\mu = 170$; pendenza $g = 0,85 \frac{mA}{V}$; resistenza di placca 200.000 ohm; corrente di placca normale 3 ÷ 4 mA. Il pentodo Marconi P T 235, con 150 volta alla placca e allo schermo, ha fattore di amplificazione 90; pendenza $1,65 \frac{mA}{V}$; resistenza di placca 55.000 ohm; corrente anodica normale 20 ÷ 30 mA.

171. - Impieghi della valvola a tre elettrodi. — Nell'esame fatto al nr. 152 della caratteristica di placca (fig. 177) si sono segnalati tre funzionamenti possibili con la valvola a tre elettrodi: 1° come *rivelatrice*, 2° come *amplificatrice* e 3° come *generatrice*. Si vedrà più avanti come si possano ottenere i funzionamenti suddetti, i quali dipendono notevolmente dal punto iniziale di funzionamento sulla caratteristica, e cioè dalla ripartizione delle tensioni sulla placca e sulla griglia.

Si può per ora stabilire che per la ricezione e per l'amplificazione iniziale è sufficiente una corrente di placca relativamente bassa, e quindi una tensione di placca molto piccola; le valvole di ricezione e di amplificazione iniziale sono quindi costruite per tale piccola energia, e mal sopporterebbero un'energia maggiore, come sarebbe necessario per ottenere forti emissioni e amplificazioni. Le grosse valvole per la trasmissione devono per contro permettere una tensione di placca elevata (che può raggiungere 15.000 volta), anche con forti correnti anodiche, (dell'ordine dell'ampere), e la loro costituzione ha appunto per scopo tale possibilità.

Fig. 192.

Le caratteristiche di questi due tipi fondamentali di valvole, pur avendo lo stesso andamento, differiscono notevolmente nei valori numerici delle ascisse e delle ordinate.

Le figure 192 e 193 mettono in evidenza tale differenza.

Nella figura 192 si ha la caratteristica di una valvola di ricezione, in cui la tensione di placca è di 20 ÷ 40 volta e la corrente appena di 0,1 ÷ 0,2 milliampere; nella fig. 193 si ha la caratteristica di una piccola valvola di trasmissione, in cui la corrente si aggira su 20 ÷ 30 milliampere, con 1000 ÷ 1500 volta di placca.

Ciò non toglie che anche una piccola valvola possa funzionare come generatrice di oscillazioni o che una grossa valvola possa funzionare come rivelatrice o come amplificatrice.

Il diverso funzionamento non dipende dalla grandezza della valvola o delle tensioni e correnti circolanti, ma dal modo di eccitazione, e cioè dai collegamenti fra i circuiti connessi alla valvola, e dal punto iniziale di funzionamento, vale a dire dalla ripartizione delle tensioni applicate alla placca ed alla griglia.

Nei paragrafi seguenti la valvola a tre elettrodi verrà studiata come generatrice, poi come rivelatrice e quindi come amplificatrice. In tutta la trattazione

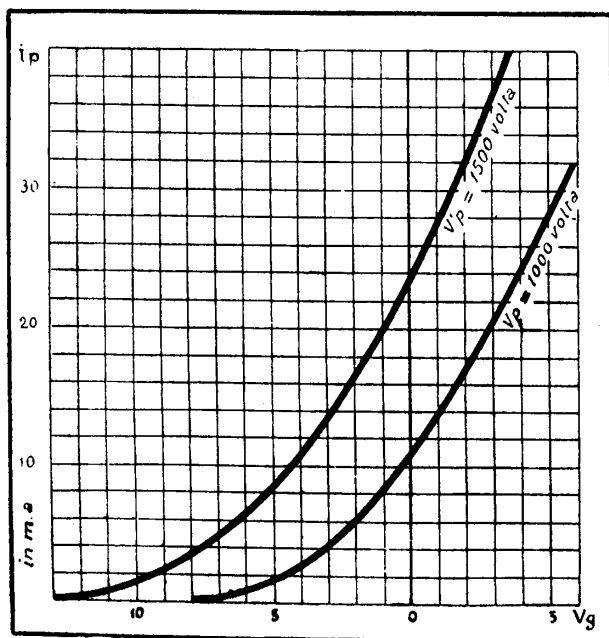



Fig. 193.

che segue si dirà semplicemente valvola quando si parla di quella a tre elettrodi o triodo; le altre valvole verranno indicate con il numero degli elettrodi o con il loro nome speciale.

CAPITOLO IX.

Valvola a tre elettrodi generatrice di oscillazioni persistenti.

172. - CORRENTE PULSANTE E TENSIONE PULSANTE DI PLACCA. — Si consideri una valvola a tre elettrodi (fig. 194), nel cui circuito di placca sia disposta come al solito una batteria (od una dinamo), che fornisca una f. e. m. continua E_0, col polo positivo alla placca ed il negativo al filamento; si supponga inoltre che tra griglia e filamento e tra placca e filamento siano inseriti due piccoli alternatori od equivalenti sorgenti di f. e. m. alternata E_p ed E_g, aventi la stessa frequenza: si vedrà in seguito come tali f. e. m. siano in pratica di facile realizzazione.

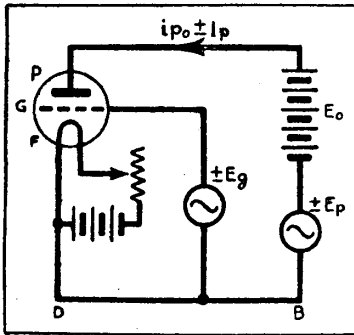



Fig. 194.

Per la presenza della batteria E_0, che rende positiva la placca rispetto al filamento, si determina un flusso di elettroni, emessi dal filamento incandescente, il quale equivale ad una corrente positiva i_{po}, che *entri* dalla placca nella valvola (nr. 151). Se non esistessero le due f. e. m. alternate E_p ed E_g, la sola corrente presente nei circuiti sarebbe precisamente la i_{po}, perchè la griglia, avendo lo stesso potenziale del filamento, non avrebbe corrente apprezzabile.

Si ammetterà qui che la temperatura del filamento sia sufficientemente alta perchè l'emissione possa variare al variare della tensione globale applicata, ovvero che la E_0 sia inferiore alla tensione di saturazione.

Si consideri ora che cosa avviene se oltre alla batteria E_0 si aggiungono prima la sola E_g, quindi la sola E_p, e poi entrambe insieme.

La presenza della f. e. m. E_g sulla griglia (oltre a quella E_0 sulla placca) renderà alternativamente positiva e negativa la griglia rispetto al filamento, e la conseguenza di questa variazione del potenziale di griglia come si è visto al nr. 152 sarà un alternativo succedersi di aumenti e di diminuzioni del flusso elettronico. E precisamente: quando la f. e. m. di griglia è nella sua fase positiva (cioè

quando la griglia è positiva rispetto al filamento), la corrente elettronica cresce, mentre questa stessa corrente diminuisce quando la f. e. m. di griglia è nella fase negativa. La corrente di placca per effetto della f. e. m. alternata di griglia diventa quindi *pulsante,* cioè oscilla tra un massimo (per E_g positivo) ed un minimo (per E_g negativo), come se nel circuito di placca si producesse una corrente alternata che chiameremo I'_p, la quale abbia alternativamente il senso della i_{po} (cioè entri nella valvola) e quindi si sommi a questa, ed il senso opposto (cioè esca dalla valvola) e quindi si sottragga alla medesima, dando così origine alla corrente pulsante, quale effettivamente si ottiene. La corrente pulsante oscillerà quindi tra un massimo dato da $i_{po} + I'_p$, ed un minimo dato da $i_{po} - I'_p$. Il minimo può diventare anche zero, se la griglia nella sua fase negativa raggiunge od oltrepassa il potenziale di interdizione (nr. 147); come pure il massimo può raggiungere il valore I_s della corrente di saturazione, se il potenziale di griglia nella sua fase positiva raggiunge od oltrepassa il valore di saturazione.

Si esamini ora che cosa avviene se, eliminata la E_g dalla griglia, si applica sulla placca, la f. e. m. alternata E_p che si può supporre di ampiezza minore di E_o e della stessa frequenza di E_g.

Tale f. e. m., essendo alternata, sarà alternativamente diretta verso la placca (P) e verso il filamento (B): essa andrà quindi alternativamente in aumento ed in diminuzione alla f. e. m. costante E_o, che è sempre diretta verso la placca: la tensione risultante tra filamento e placca, e quindi tra i punti P e B, sarà così anche essa pulsante tra un massimo $E_o + E_p$ ed un minimo $E_o - E_p$.

Avendo supposto E_o minore del potenziale di saturazione, questa variazione della tensione di placca influirà naturalmente sulla corrente di placca e, analogamente a quanto si è verificato al variare della E_g, la corrente di placca diventerà *pulsante,* aumentando quando la tensione di placca supererà il valore normale E_o (fase positiva della E_p), e diminuendo quando la tensione di placca sarà inferiore alla normale E_o (fase negativa della E_p), ed oscillando quindi tra un massimo ed un minimo come se una corrente alternata, che potrà chiamarsi I''_p, si sovrapponesse alla corrente normale i_{po}.

Ora, che cosa avverrà se la E_p e la E_g sono applicate contemporaneamente?

Due casi importanti possono considerarsi:

1° le f. e. m. E_p ed E_g sono concordanti, cioè aumentano o diminuiscono insieme;

2° le f. e. m. E_p ed E_g sono opposte, cioè mentre una fa crescere il potenziale di placca, l'altra fa diminuire quello di griglia e viceversa.

Nella fig. 195 (1) è rappresentato l'andamento delle varie f. e. m. e delle varie correnti durante un periodo. Si è scritto $+ E_p$ quando la f. e. m. tende a rendere positiva la placca rispetto al filamento; $- E_p$ quando la f. e. m. tende a renderla negativa. Analogamente si è fatto per E_g rispetto alla griglia.

---

(1) La figura è divisa verticalmente in tre: *a*), *b*), *c*).

Nel primo caso (fig. 195 *a*) la corrente di placca, sotto l'azione concordante delle tensioni di placca e di griglia, aumenterà e diminuirà rapidamente, in accordo con gli aumenti o le diminuzioni delle due f. e. m. E_p ed E_g, raggiungendo perciò un massimo molto elevato ed abbassandosi poscia ad un minimo molto basso. La corrente alternata I_p (che potremo considerare come risultante delle due parziali I'_p e I''_p) ottenuta nel circuito di placca avrà dunque una grande ampiezza.

Nel secondo caso (fig. 195 *b*) e *c*) l'azione contrastante dei due potenziali produrrà aumenti e diminuzioni più deboli, e per di più tali aumenti e diminu-

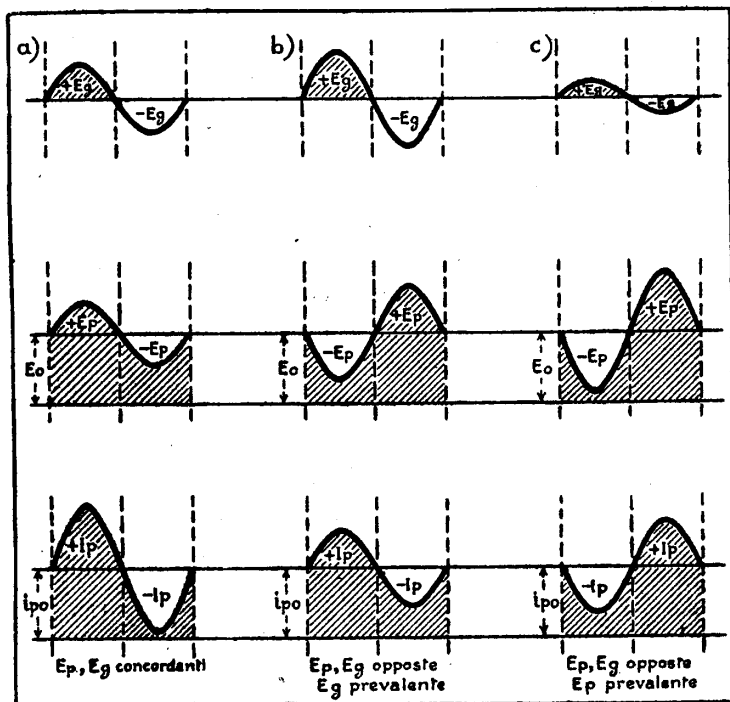



Fig. 195.

zioni saranno in accordo con gli aumenti e le diminuzioni della f. e. m. prevalente, ed in opposizione con quelle della meno influente.

La fig. 195 *b*) rappresenta il caso in cui la f. e m. di griglia è prevalente; la fig. 195 *c*) quello in cui prevale la f. e. m. della placca.

Per giudicare della prevalenza delle due f. e. m. devesi ricordare (nr. 162) che il potenziale della griglia ha, sulla corrente di placca, un' influenza maggiore di quello della placca, e che precisamente tale maggiore influenza è misurata dal fattore di amplificazione della valvola. Affinchè la f. e. m. E_p alternata della placca prevalga (come in *c*) su quella E_g della griglia, occorre quindi che l'ampiezza di tale f. e. m. alternata di placca E_p non solo sia maggiore di quella

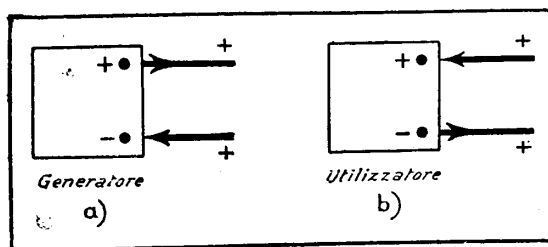
E_g di griglia, ma sia maggiore del valore di questa moltiplicato per il fattore di amplificazione. Se al contrario l'ampiezza della E_p è minore di quella di E_g moltiplicata per il fattore di amplificazione, allora la griglia avrà un'azione preponderante e la corrente di placca crescerà o diminuirà, in concordanza con il crescere o con il diminuire della E_g, ed in opposizione alle variazioni della E_p (fig. 195 *b*).

I tre funzionamenti rappresentati nella figura 195 sono tutti possibili; occorre ora vedere quale sia da scegliere per rendere la valvola *generatrice di oscillazioni.*

173. - Condizioni perchè la valvola sia generatrice di oscillazioni. — Bisogna a tale scopo tener presente che un apparato elettrico produce del lavoro e funziona cioè come generatore, *quando dal suo morsetto positivo esce corrente positiva e nel morsetto negativo entra corrente positiva* (ed esce corrente negativa) (fig. 196 *a*). Così avviene nelle pile, negli accumulatori durante la scarica, nelle dinamo, cioè nei generatori di corrente continua, in cui corrente e potenziale hanno direzione e grandezza costante. Così avviene anche negli alternatori, cioè nei generatori di c. a., nei quali però la regola ora detta deve essere verificata in ogni istante, vale a dire che durante il semiperiodo in cui la corrente esce da un morsetto ed entra nell'altro, il potenziale del primo morsetto (da cui esce la corrente) dev'essere positivo rispetto al secondo (in cui entra la corrente). Nel semiperiodo successivo corrente e potenziale saranno naturalmente rovesciati entrambi.

Fig. 196.

Invece negli apparecchi che consumano energia elettrica, e che funzionano cioè come *utilizzatori,* la corrente positiva *entra dal polo positivo* ed *esce dal negativo* (fig. 196 *b*). Così avviene nei motori elettrici, negli accumulatori durante la carica, negli elettromagneti, nelle lampade elettriche ed in genere in tutti gli apparati che consumano energia elettrica. Negli apparati che consumano corrente alternata questa regola deve essere verificata in ogni istante e quindi in ogni semiperiodo.

Tornando ora all'ipotesi del nr. 172, si supponga che alla valvola siano applicate due f. e. m. alternate, come nella fig. 194, in modo da ottenere nel circuito di placca la corrente alternata $I_p = I'_p + I''_p$, che si sovrappone alla corrente i_{po}: si tratta di vedere se sia possibile rendere la valvola generatrice di corrente alternata, cioè tale che, considerati i due punti estremi P e B del circuito di placca come morsetti esterni di una macchina generatrice, possa da questi ottenersi, in ogni istante, corrente positiva uscente dal morsetto positivo. Occorre a questo

scopo riconoscere esattamente il segno dei morsetti ed il senso della corrente, e tener presente che, a differenza di un semplice alternatore, qui si ha la sovrapposizione di correnti e tensioni alternate a correnti e tensioni continue. Per riconoscere se il dispositivo funziona da generatore o da consumatore *di corrente alternata* si deve perciò tener conto solo delle *parti alternate* (E_p e I_p) delle tensioni e delle correnti.

Si considerino dunque le sole parti alternate. Nella figura 195 si è indicato come positivo ($+ E_p$) il semiperiodo in cui la f. e. m. E_p va in aumento a quella E_o permanentemente applicata al circuito. Il semiperiodo positivo di E_p è quindi quello in cui la E_p ha lo stesso senso della E_o: cioè è considerato come positivo il semiperiodo in cui la E_p tende a rendere positivo P rispetto a B, come la E_o: naturalmente sarà negativo il semiperiodo in cui la E_p va in diminuzione alla E_o, cioè ha senso contrario a questa, e quindi tende a rendere P negativo rispetto a B.

Per quanto riguarda la I_p, analogamente nella figura si è indicato come positivo ($+ I_p$) il semiperiodo in cui la corrente I_p va in aumento a quella elettronica, la quale è una corrente negativa che esce dal filamento verso la placca e verso l'esterno, equivalente quindi ad una corrente positiva che entra nella valvola dalla placca in P. Il semiperiodo di I_p considerato come positivo (fig. 195) è dunque quello in cui detta corrente entra da P nella valvola, come la I_o, e si aggiunge a questa e la fa aumentare. Il semiperiodo negativo ($- I_p$) è naturalmente quello in cui la stessa corrente I_p esce da P dalla valvola, verso B e quindi va in senso inverso alla I_o e la fa diminuire.

La valvola potrà dunque fornire energia sotto forma di corrente alternata, da P verso l'esterno, solo se il semiperiodo in cui il morsetto P è nella fase positiva della tensione alternata ($+ E_p$ della figura) coincide col semiperiodo in cui la parte alternata I_p della corrente è nella fase uscente da P, e cioè col semiperiodo di I_p che si è chiamato negativo ($- I_p$ della figura); o, in altre parole, la valvola sarà generatrice di corrente alternata solo se il semiperiodo in cui la f. e. m. E_p va in aumento alla E_o coincide con il semiperiodo in cui la I_p va in diminuzione alla i_{po}: *gli istanti di massima tensione positiva applicata alla placca devono quindi coincidere con gli istanti della minima corrente elettronica uscente dalla placca verso l'esterno.*

Si rileva dalla fig. 195 che solo il caso *b* soddisfa a questa condizione. Esso si ottiene applicando E_p ed E_g in opposizione di fase, con E_g prevalente. Negli altri due casi la valvola consuma energia sotto forma di corrente alternata, poichè il semiperiodo ($+ E_p$ della figura) in cui la E_p è positiva (morsetto P positivo rispetto a B) coincide con il semiperiodo in cui I_p è entrante da P nella valvola ($+ I_p$ della figura); cioè in quei due casi la valvola riceve corrente positiva dal morsetto positivo e funziona perciò come un apparato utilizzatore.

Le considerazioni fatte mostrano dunque come sia possibile che una valvola diventi generatrice di corrente alternata.

Questo funzionamento si ottiene:

1° applicando alla placca ed alla griglia due f. e. m. alternate E_p ed E_g di eguale frequenza, ma opposte di fase (il potenziale di placca deve aumentare mentre quello di griglia diminuisce e viceversa);

2° regolando le due f. e. m. in modo che l'ampiezza della E_g, moltiplicata per il fattore di amplificazione della valvola, superi l'ampiezza della E_p, cosicchè l'influenza della f. e. m. alternata di griglia sulla corrente di placca prevalga sulla influenza della f. e. m. alternata di placca, in modo che *la corrente elettronica aumenti e diminuisca in concordanza con gli aumenti e con le diminuzioni del potenziale di griglia, ed in opposizione con gli aumenti e le diminuzioni del potenziale di placca.*

È interessante notare che la valvola in tali condizioni funziona come una macchina generatrice di corrente alternata, cioè come un *alternatore*, al quale però l'energia vien fornita, non già come nei comuni alternatori, dall'azione meccanica di motori esterni ad essa collegati, ma dalla batteria E_o, applicata alla placca.

Se infatti si considera la valvola nei riguardi di tale batteria, si vede che questa tende a mantenere un potenziale E_o costantemente positivo alla placca e che essa fornisce alla valvola (dalla placca al filamento) una corrente positiva i_{po} (equivalente al flusso elettronico negativo uscente dal filamento), costantemente entrante nella valvola dal polo positivo; la batteria funziona quindi come generatrice di energia elettrica, mentre la valvola che riceve corrente positiva dal polo positivo in ogni caso consuma dell'energia elettrica, fornitagli dalla batteria E_o. Nella condizione della fig. 195 *b)* essa, diventando generatrice di c. a, restituisce parte di tale energia elettrica, precisamente sotto forma di corrente alternata, ai morsetti P e B.

Per tale generazione è necessaria l'applicazione delle due f. e. m. alternate E_p ed E_g nelle condizioni ora esaminate; si tratta quindi di vedere come si possano realizzare in modo semplice tali f. e. m.

174. - CIRCUITI GENERATORI DI ONDE PERSISTENTI. — Il metodo generale per ottenere comodamente le due f. e. m. alternate E_p ed E_g consiste nel collegare opportunamente la valvola ad un circuito oscillante di piccolo smorzamento, in modo che una qualsiasi carica che venga fornita al condensatore provochi nel circuito delle oscillazioni libere debolmente smorzate; queste oscillazioni potranno fornire alla valvola le due occorrenti f. e. m. alternate E_p ed E_g. Reciprocamente, ogni qualvolta che, per effetto di oscillazioni spontanee, anche deboli, prodotte in circuiti oscillanti collegati ad una valvola, tendano a prodursi sulla placca e sulla griglia due f. e. m. alternate, di egual periodo, di fase opposta e di ampiezza appropriata, la valvola tenderà a diventare generatrice di oscillazioni. Questo fatto riveste una importanza grandissima in tutte le applicazioni delle valvole, essendo spesso dannosa tale spontanea generazione di oscillazioni.

175. - Circuito ad accoppiamento per autoinduzione (di Hartley). — Il modo più semplice di collegare la valvola ad un circuito oscillante per ottenere le due f. e. m. E_p ed E_g consiste nel connettere la placca e la griglia alle due armature A e B del condensatore C del circuito stesso (fig. 197), mentre il filamento è collegato ad un punto D intermedio della induttanza del circuito. L'accensione del filamento, o la chiusura del circuito di placca, produrrà una carica, piccola in generale, del condensatore C. A questa seguirà una scarica attraverso l'induttanza L, la quale scarica sarà oscillante, con frequenza corrispondente ai valori della capacità e dell'induttanza, e con piccolo smorzamento se, come si suppone, la resistenza del circuito è piccola.

In qualunque istante si consideri la scarica, le due armature A e B del condensatore, che sono pure gli estremi della induttanza A B, saranno a potenziale alternato, di segno opposto rispetto a D; cosicchè quando A sarà positivo rispetto a D (filamento), B sarà negativo; quando il potenziale di A crescerà, quello B diminuirà e viceversa. In questo modo risultano applicate alla griglia (tra D e B), ed alla placca (tra D e A) le due f. e. m. E_p ed E_g alternate, di uguale frequenza ed opposte di fase rispetto al filamento, quali appunto si richiedono perchè la valvola sia generatrice di oscillazioni.

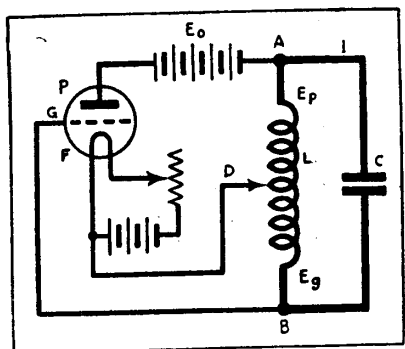



Fig. 197.

Tali f. e. m. sono di ampiezze pressapoco proporzionali alle induttanze dei rispettivi tratti B D e A D; cosicchè se D si porta più vicino ad A, la E_p sarà minore di E_g, e viceversa.

Affinchè sia verificata la condizione di generazione sarà dunque sufficiente che il punto D non sia troppo vicino a B; poichè in tal caso la E_g sarebbe così piccola, che, nonostante la sua maggiore influenza dovuta al fattore di amplificazione, non potrebbe prevalere sulla E_p, come è necessario.

Se dunque il punto D non è troppo vicino a B, la valvola sarà nelle condizioni di produrre della energia sotto forma di corrente alternata.

Occorre ora vedere come tale energia viene utilizzata dal circuito oscillante.

All'uopo basta considerare che la valvola, quando genera, dà corrente positiva dal morsetto positivo e corrente negativa dal morsetto negativo. Dunque quando la tensione di A è nella fase positiva e quella di B è nella negativa, l'armatura A riceverà dalla valvola corrente positiva e la B corrente negativa. Quando al contrario A sarà negativa e B positiva, riceverà A corrente negativa e B positiva. Questo fenomeno si verifica in tutti i circuiti generatori di oscillazione: si può quindi generalizzare come segue: « La valvola generatrice di oscillazioni tende in ogni istante ad aumentare le cariche esistenti sulle armature del condensatore del circuito oscillante ad essa connesso ».

È qui opportuno rilevare la differenza essenziale di funzionamento fra i trasmettitori a scintilla e quelli a valvola. Nei primi l' energia viene fornita (cariche dal condensatore) ad intervalli molto lunghi rispetto al periodo dell' oscillazione, cosicchè le oscillazioni sono mantenute per molti periodi da una sola carica del condensatore, e quindi si smorzano fino ad estinguersi. Nel secondo caso la valvola fornisce energia al circuito oscillante una volta ogni periodo. Se, come si vedrà, la carica fornita è sufficiente, l' oscillazione non potrà smorzarsi e si manterrà quindi di ampiezza costante.

176. - INNESCAMENTO DELLE OSCILLAZIONI. — Quando la valvola fosse messa in condizioni di consumare energia anzichè di generarla (ad es.: invertendo il senso di una delle f. e. m. E_p e E_g), allora essa tenderebbe in ogni istante a diminuire le cariche esistenti sulle armature del condensatore; si verificherebbe cioè l'azione opposta a quella precedente.

La valvola collegata ad un circuito oscillante, quando è generatrice, tende dunque a contrastare l' effetto dello smorzamento proprio del circuito, rifornendo in misura più o meno grande la carica che si perde nel circuito per le cause di smorzamento; ed al contrario, quando è consumatrice tende ad aumentare l'effetto dello stesso smorzamento, concorrendo con questo ad esaurire più presto la carica del condensatore.

Nel secondo caso (valvola consumatrice), qualunque oscillazione prenda inizio nel circuito, la valvola, la spegnerà più in fretta di quello che sarebbe avvenuto senza di essa. Nel primo caso invece (valvola generatrice), può darsi che l' aumento di carica apportato dalla valvola ad ogni oscillazione non sia sufficiente a compensare la perdita dovuta allo smorzamento, ed allora l' oscillazione, pur essendo meno rapidamente smorzata, cesserà ad ogni modo, in un numero più o meno grande di periodi. Ma può darsi anche che l' aumento apportato dalla valvola superi la perdita dovuta allo smorzamento, ed allora l' oscillazione, anzichè diminuire di ampiezza, aumenterà.

E poichè l' aumento dell' oscillazione aumenterà a sua volta tanto la E_p che la E_g, così sarà aumentata anche la carica successivamente fornita dalla valvola; questa successivamente aumenterà l'oscillazione, e con essa la E_p e la E_g, e così via.

Quest' ultimo caso è appunto quello che si verifica nei circuiti generatori in cui lo smorzamento è piccolo e la potenza disponibile della valvola è relativamente grande. L' oscillazione cresce in tale caso molto rapidamente, raggiungendo ampiezze molto maggiori di quelle iniziali, che potevano anche essere molto piccole. In questo successivo amplificarsi delle oscillazioni (dapprima piccolissime) consiste il fenomeno dello *innescamento delle oscillazioni,* che si dice anche impropriamente innescamento della valvola.

Il limite all' amplificarsi della oscillazione è dato dal fatto che, a misura che aumenta l'ampiezza della oscillazione, aumenta anche la perdita di carica che le cause di smorzamento producono ad ogni oscillazione nel condensatore, mentre

la corrente fornita dalla valvola non può aumentare indefinitamente, essendo limitata dal valore di saturazione. Arriva dunque un momento in cui l'oscillazione ha una tale ampiezza in ogni periodo, che essa consuma giusto quanto può esserle fornito dalla valvola; a tale punto l'ampiezza dell'oscillazione non può più aumentare, essendo verificato l'equilibrio tra il rifornimento e le perdite delle cariche che oscillano: la oscillazione rimane quindi di ampiezza costante, cioè *diventa una oscillazione persistente.*

Per produrre con le valvole una oscillazione persistente non basta dunque che la valvola sia messa in condizione di essere generatrice, ma occorre ancora che il circuito cui è collegata abbia uno smorzamento tanto piccolo che la carica che essa consuma in una piccola oscillazione (che si inizi in esso) sia inferiore a quella che con tale piccola eccitazione (cioè con piccoli E_p ed E_g), si può ricavare dalla valvola: allora soltantô la valvola farà aumentare l'oscillazione fino ad un limite definito, al quale questa si manterrà poi stazionaria; e cioè allora soltanto si innescheranno le oscillazioni.

Per ottenere una oscillazione molto ampia occorre dunque usare circuiti di piccolo smorzamento, ed evitare tutte le cause di dissipazione dell'energia (resistenza nelle bobine, cattivo isolamento nei condensatori, dannosi accoppiamenti esterni, ecc.).

177. - Influenza delle f. e. m. E_p ed E_g. — Ma anche la regolazione delle due f. e. m. E_p ed E_g influisce sulla erogazione di energia che può ottenersi dalla valvola. Infatti se si fa grande E_p e piccola E_g, spostando il punto D verso B (fig. 197) pur mantenendosi nelle condizioni di generazione (e cioè con la E_g prevalente), si ridurrà l'ampiezza della corrente I_p che deve fornire la carica al condensatore, mentre facendo grande E_g e piccola E_p, cioè spostando il punto D verso A, si ridurrà la d. d. p. E_p che deve determinare la carica del condensatore stesso. In altre parole, poichè la potenza fornita dalla valvola dipende dal prodotto dei due fattori E_p ed I_p, se uno di essi diventa troppo piccolo, anche l'energia fornita diventa troppo piccola; dunque la energia fornita diminuisce sia spostando D troppo verso A, che spostandolo troppo verso B. Di conseguenza la migliore condizione sarà ottenuta con valori di E_p e di E_g intermedi fra gli estremi, cioè con D verso il mezzo tra A e B.

178. - Influenza della conduttanza mutua o pendenza G. — Queste condizioni ora esaminate (circuiti poco resistenti e giusta proporzione tra le due f. e. m. di griglia e placca) sono necessarie per dare una grande ampiezza alle oscillazioni, ma possono non essere sufficienti per l'innescamento.

Si esamini infatti quanto avviene allorchè le oscillazioni provocate da una causa lievissima di squilibrio nella carica del condensatore sono molto piccole di ampiezza. L'energia fornita dalla valvola in tali condizioni è pure piccolissima, e dipende unicamente dalla piccola corrente di placca provocata dalle due f. e. m. E_p ed E_g iniziali, la quale, a sua volta, dipende dalla pendenza della caratteri-

stica nel punto di funzionamento considerato; se la pendenza è piccola, sarà pure piccola la corrente alternata che se ne ottiene; se essa è tanto piccola da non essere sufficiente a supplire la perdita di carica che si verifica nel circuito, la carica del condensatore non aumenterà; nella oscillazione successiva essa sarà ancora minore e quindi l' oscillazione si spegnerà gradatamente. Se invece la pendenza è forte anche la corrente erogata sarà ampia; se essa supera la perdita di carica del condensatore, allora l'oscillazione successiva sarà maggiore; aumenteranno E_p ed E_g, e la corrente crescerà in conseguenza; l' oscillazione andrà così gradatamente aumentando.

Affinchè l' oscillazione possa innescarsi è quindi anche necessario che il punto di funzionamento della valvola sia nella parte ripida della caratteristica, cioè che i potenziali iniziali di placca e di griglia siano sufficientemente alti perchè la valvola funzioni lontana dal punto di interdizione. Naturalmente il punto di funzionamento iniziale dovrà anche essere lontano dal punto di saturazione, perchè presso la saturazione la caratteristica è meno ripida. Ciò implica che la temperatura del filamento sia sufficientemente alta (nr. 154), in relazione alla tensione applicata.

179. - AZIONE RIGENERATRICE DELLA VALVOLA. — Si può così dire che sono quattro i casi in cui può avvenire che non si ottenga la generazione di oscillazioni persistenti nel circuito oscillante:

1°) la valvola non è generatrice, o perchè E_p ed E_g non sono opposte di fase, o perchè E_p prevale su E_g;

2°) la valvola è generatrice, ma il circuito è troppo smorzato in relazione alla massima potenza che può essere fornita dalla valvola;

3°) la valvola è generatrice e il circuito non è troppo smorzato, ma la potenza iniziale fornita dalla valvola non è sufficiente a mantenervi un'oscillazione che vi si inizi, perchè la valvola funziona in un punto poco ripido della caratteristica;

4°) la valvola è generatrice, il circuito è poco smorzato ed il punto di funzionamento è nella parte ripida, ma la regolazione del rapporto tra E_p ed E_g è tale che la potenza fornita dalla valvola non è sufficiente a mantenere l' oscillazione nel circuito.

Quest' ultimo caso, che si verifica nel circuito ad accoppiamento per autoinduzione (fig. 197) quando si sposta il contatto D del filamento troppo vicino ad A o troppo vicino al punto (verso B) in cui la valvola cessa di essere generatrice, è specialmente importante per la ricezione dei segnali r. t. e conviene esaminarlo un momento.

In questo caso infatti, (4° caso) si supponga di accoppiare all' induttanza del circuito oscillante (fig. 197) una sorgente di f. e. m. alternata, in risonanza con lo stesso circuito; tale f. e. m. produrrà in questo delle oscillazioni ed agli estremi della induttanza si otterranno le due f. e. m. E_p ed E_g necessarie. La valvola, essendo per ipotesi nelle condizioni di generazione, produrrà ad ogni istante delle cariche in aggiunta a quelle esistenti nel condensatore; farà quindi aumentare l'ampiezza delle oscillazioni. Non appena però cessa l' eccitazione esterna che ha iniziato e mantenuta l' oscillazione, poichè la valvola, per la ipotesi ammessa, non produce sufficiente potenza per mantenere da sola l' oscillazione, questa si smorzerà fino a spegnersi totalmente.

Un circuito messo nelle condizioni considerate (4° caso sopracitato) non genera da solo delle oscillazioni; ma se queste vengono provocate da una eccitazione esterna, le amplifica per tutta la durata della eccitazione stessa. Nei ricevitori detti a *reazione* (si parlerà di tali apparecchi al nr. 290), il circuito viene precisamente messo in queste condizioni, e l'eccitazione esterna è data dalle oscillazioni dell'aereo in ricezione; l'amplificazione che si ottiene dalla valvola può essere notevolissima.

Tale funzionamento dicesi di *rigenerazione*, e si può ottenere, più o meno comodamente, anche negli altri circuiti che verranno esaminati.

180. - CONDIZIONI NECESSARIE E SUFFICIENTI PER LA GENERAZIONE DELLE OSCILLAZIONI. — Si possono ora riassumere le varie condizioni necessarie perchè possano innescarsi e mantenersi delle oscillazioni in un circuito oscillante connesso ad una valvola. Esse sono:

1° il circuito dev'essere di piccolo decremento, ed essere disposto in modo che ogni piccola oscillazione, che prenda inizio in esso, produca due f. e. m. alternate, applicate rispettivamente tra filamento e placca (E_p) e tra filamento e griglia (E_g), opposte di fase, e cioè tali che una faccia aumentare il potenziale della placca rispetto al filamento, quando l'altra fa diminuire quello della griglia rispetto al filamento;

2° che delle due f. e. m. così provocate prevalga la f. e. m. di griglia E_g, tenuto conto del fattore di amplificazione della valvola: vale a dire che la f. e. m. alternata di griglia, moltiplicata per il fattore di amplificazione della valvola, superi la f. e. m. alternata di placca;

3° che la valvola funzioni in un punto in cui la caratteristica di placca sia ripida, quindi abbia una elevata tensione anodica (di placca), ed una tensione di griglia superiore al potenziale di interdizione.

Se queste condizioni sono soddisfatte, le oscillazioni si innescano e si mantengono. Ma può ancora darsi che esse rappresentino una energia troppo piccola di fronte a quella che la batteria di placca fornisce alla valvola; si deve quindi esaminare da che cosa dipenda l'ottenere che una parte più o meno grande della energia fornita dalla batteria alla valvola si trasformi in oscillazioni, cioè da che dipenda il rendimento della trasformazione, o come si dice, il rendimento della valvola oscillatrice.

181. - RENDIMENTO DELLE VALVOLE GENERATRICI. — Se si considerano i punti P e B (fig. 194) come i morsetti della valvola generatrice di oscillazioni, si trova che fra essi esiste una f. e. m. pulsante (fig. 195, seconda riga), risultante dalla f. e. m. costante E_0 dovuta alla batteria e dalla f. e. m. E_p alternata, applicata per azione esterna. Dai punti P e B entra poi nella valvola una corrente pure pulsante (fig. 195, terza riga), che può ritenersi costituita dalla corrente continua i_{po}, dovuta alla f. e. m. E_o, e dalla corrente alternata I_p, dovuta alla azione combinata delle due f. e. m. E_p ed E_g.

L'energia ricevuta dalla valvola può dunque considerarsi costituita da quattro parti distinte, dovute rispettivamente:

1° alla corrente i_{po} sotto la tensione E_o;

2° alla corrente i_{po} sotto la tensione E_p;

3° alla corrente I_p sotto la tensione E_o;

4° alla corrente I_p sotto la tensione E_p.

Di queste quattro parti la seconda e la terza non danno luogo ad una variazione definitiva di energia. Infatti la corrente i_{po} entra costantemente nella valvola, mentre la tensione E_p rende alternativamente positivo e negativo il punto P da cui entra la corrente; la valvola riceve dunque la corrente da un morsetto alternativamente positivo e negativo, cioè funziona alternativamente da consumatrice e da generatrice; il risultato definitivo sarà nullo. Lo stesso dicasi della corrente I_p che alternativamente entra ed esce dalla valvola per il morsetto P, costantemente mantenuto positivo dalla f. e. m. E_o. Rimangono dunque:

la *prima parte*, per la quale la valvola riceve costantemente la corrente positiva i_{po} dal morsetto P, mantenuto costantemente positivo dalla E_o, e funziona quindi da consumatrice di energia;

la *quarta parte*, per la quale la corrente I_p alternativamente esce ed entra nella valvola per il morsetto P, mantenuto alternativamente positivo e negativo dalla E_p.

Se, come nel caso *b)* (fig. 195), si fa in modo che i semiperiodi negativi della corrente I_p, cioè quelli nei quali la I_p esce dal punto P, coincidano con i semiperiodi in cui P è reso positivo dalla E_p, allora la potenza E_p I_p è una potenza restituita dalla valvola, poichè per questa parte essa funziona come generatrice. Se invece, come in *a)* e in *c)*, si verificano condizioni opposte, la valvola funzionerà da consumatrice, anche per questa parte. In questo caso la relativa energia deve provenire dall'esterno, cioè dalle cause che provocano le f. e. m. E_p ed E_g. Anche nel caso *b)* però la valvola in definitiva consuma dell'energia, e precisamente consuma la differenza tra la prima e la quarta parte; tale consumo si manifesta nel riscaldamento di tutta la valvola, e segnatamene nel riscaldamento, che può essere grandissimo, della placca e della griglia.

In conclusione la valvola, quando funziona da generatrice, si comporta come un trasformatore statico di corrente continua in corrente alternata: riceve energia sotto forma di corrente continua (parte prima); in parte la consuma per riscaldamento ed in parte la restituisce sotto forma di corrente alternata (parte quarta).

È naturalmente desiderabile che la parte utile sia la più elevata che sia possibile e ciò si ottiene specialmente agendo sulla regolazione dei due potenziali E_p ed E_g, e quindi sugli elementi del circuito da cui essi dipendono, nonchè sui potenziali costanti E_{po} ed E_{go} da applicare alla placca ed alla griglia.

Non sarebbe difficile dimostrare che, se tutte le correnti e tensioni alternate considerate fossero esattamente sinusoidali, un funzionamento ben regolato darebbe per risultato che una metà della energia ricevuta viene consumata nella valvola e trasformata in calore interno, mentre l'altra metà viene trasformata in corrente alternata: si avrebbe un rendimento del 50 % nella trasformazione.

Nei piccoli apparati generalmente il rendimento è minore del 50 %, mentre nei grandi è necessario farlo aumentare, anche per diminuire l'energia consumata nella valvola, ed evitare quindi riscaldamenti eccessivi della placca e della griglia, le quali potrebbero anche fondersi.

Tale aumento di rendimento si ottiene generalmente applicando direttamente od indirettamente alla griglia un potenziale negativo prossimo al potenziale di interdizione, in modo che la corrente di placca sia ridotta a zero per quasi tutto il periodo negativo della E_g. Tale corrente viene così erogata solo per una piccola parte del periodo. Con ciò si ottengono delle correnti alternate non perfettamente sinusoidali; ma tale difetto,

che può essere attenuato con opportuni dispositivi, è largamente compensato dalla maggiore durata della valvola, e dal suo funzionamento più regolare. Per evitare poi che sia impedito l'innescamento delle oscillazioni, dato che la valvola funziona presso l'interdizione, sarà necessario qualche speciale artificio, come si vedrà al numero seguente.

182. - APPLICAZIONE DEL POTENZIALE DI GRIGLIA - CONDENSATORE SHUNTATO. — Il potenziale negativo, da applicare alla griglia come sopra è detto, potrebbe infatti essere ottenuto inserendo nel circuito una batteria di pile, con il polo negativo verso la griglia ed il positivo verso il filamento, in modo cioè da portare il funzionamento della valvola verso il potenziale di interdizione. Ma poichè in tale regione la caratteristica di placca è poco ripida, può avvenire che non si riesca ad ottenere le condizioni d'innescamento per quanto si disse al nr. 180 (condizione 3ª).

Si può ovviare a ciò adoperando il metodo del condensatore shuntato di griglia (fig. 198); la pila negativa di griglia viene sostituita con un condensatore shuntato da una resistenza relativamente bassa, ed il funzionamento è il seguente:

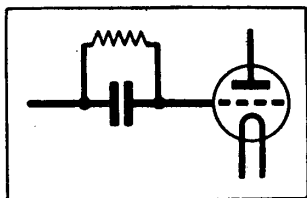



Fig. 198.

Iniziandosi le oscillazioni, la griglia, per effetto della f. e. m. E_g, diventa alternativamente positiva e negativa rispetto al filamento. Quando diventa positiva, essa raccoglie un certo numero di elettroni, che raggiungono quindi l'armatura del condensatore collegata alla griglia: se questo fosse isolato, gli elettroni rimarrebbero su tale armatura, e la renderebbero negativa: e poichè ogni oscillazione fornisce nuovi elettroni, così la griglia finirebbe per diventare tanto negativa da raggiungere il potenziale d'interdizione, impedendo così ogni emissione di elettroni.

Se però si deriva una resistenza fra le armature del condensatore, allora una parte degli elettroni, attraverso questa, sfuggirà dalla armatura collegata alla griglia, avviandosi al filamento, prima che una nuova alternazione positiva di questa attiri altri elettroni: la carica degli elettroni aumenterà quindi soltanto fino a quando la corrente che si stabilisce attraverso la resistenza derivata sia tale da disperdere in ogni periodo tanti elettroni quanti ne arrivano durante l'alternazione positiva dello stesso periodo. Il potenziale della griglia comincerà dunque con valore zero (cioè potenziale del filamento), e si abbasserà durante alcuni periodi, raggiungendo un valore negativo tanto più basso, quanto più alta sarà la resistenza shuntante, cioè quanto maggiore sarà la difficoltà di dispersione opposta da questa. Per questo motivo tale resistenza dicesi anche resistenza di dispersione. In tal modo la valvola comincia a funzionare con potenziale zero di griglia, cioè in un punto in cui la caratteristica di placca è ancora abbastanza ripida, il che permette un innescamento facile, ed in pochi periodi viene automaticamente ad assumere un potenziale negativo, regolabile a piacere con la semplice regolazione della resistenza della dispersione. Si ottiene così una

corrente di placca più intermittente, un minore riscaldamento della placca ed un maggiore rendimento della valvola. Naturalmente, funzionando in questa maniera, la valvola darà una potenza minore, perchè la corrente di placca diminuisce; ma poichè la potenza consumata per riscaldamento diminuisce più rapidamente, così il rendimento della trasformazione ne riesce migliorato: esso può praticamente raggiungere anche l'85 %. È pure da notare che questo funzionamento deforma notevolmente la corrente di placca, che non sarà più sinusoidale.

Fig. 199.

Tuttavia l'esperienza e la teoria dimostrano che invece la corrente oscillante generata è praticamente sinusoidale. Ciò è dovuto all'effetto filtrante del circuito oscillante generatore, per le correnti aventi frequenze armoniche comprese nella corrente di placca deformata.

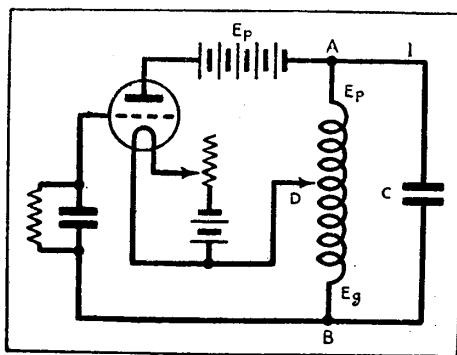
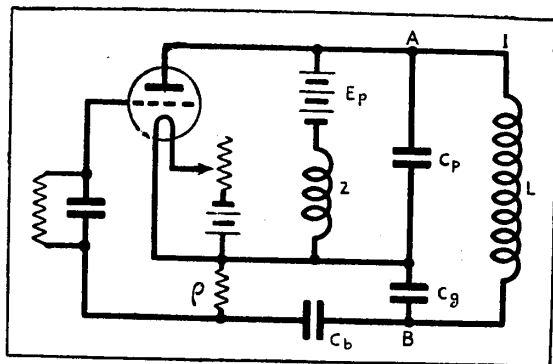
Il circuito generatore finora esaminato deve perciò modificarsi come nella fig. 199.

183. - CIRCUITO AD ACCOPPIAMENTO PER CAPACITÀ (COLPITT). — È un circuito (fig. 200) analogo a quello della figura 199, dal quale differisce perchè la capacità è sostituita da una induttanza L, e le due induttanze di placca e di griglia sono sostituite da due capacità C_p e C_g.

Fig. 200.

Un'oscillazione che si inizi nel circuito costituito dalle due capacità in serie con l'induttanza produce due f. e. m. alternate, che chiameremo ancora E_p ed E_g, fra il punto centrale collegato al filamento ed i punti A e B collegati agli estremi della induttanza; esse sono sempre opposte di fase, poichè i punti A e B sono da parti opposte dell'induttanza, ed il loro valore relativo dipende dalle grandezze delle due capacità. E precisamente: se C_g è minore di C_p, sarà E_g maggiore di E_p, e viceversa. Essendo infatti in tal caso maggiore la impedenza di C_g, sarà maggiore la caduta di tensione E_g alle sue armature, dovuta alla corrente oscillante che percorre il circuito.

Se si fa C_g molto grande, la E_g diventa troppo piccola, e la valvola cessa di essere generatrice; se si fa C_p troppo grande, la E_p diventa troppo piccola, e la valvola può essere insufficientemente generatrice; le migliori condizioni di generazione si ottengono quindi facendo C_g e C_p pressapoco uguali.

Il circuito diventa rigeneratore sia aumentando C_g rispetto a C_p, che aumentando C_p rispetto a C_g, analogamente a quanto si è visto nel circuito precedente, per le induttanze L_p e L_g.

In questo circuito non si potrebbe disporre la batteria E_o tra la placca ed il filamento, in serie con la capacità C_p, perchè questa non farebbe passare la corrente continua i_{po}. La disposizione adottata normalmente in pratica consiste nel mettere tale batteria fra placca e filamento, in serie con una forte impedenza

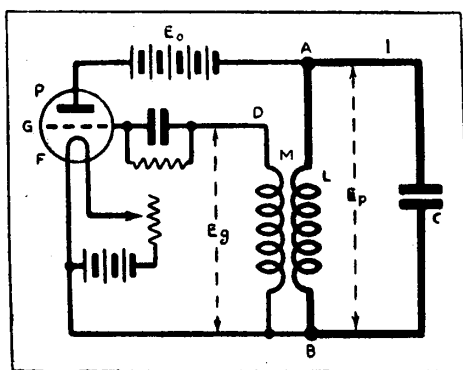



Fig. 201.

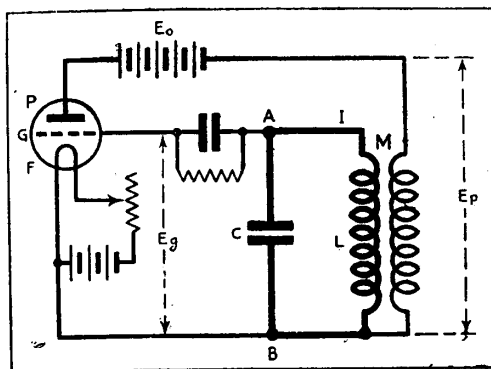



Fig. 202.

(bobina Z di molte spire eventualmente con nucleo di ferro) la quale, mentre fa passare la i_{po}, non lascia passare le correnti oscillanti del circuito oscillante. Il condensatore di blocco C_b separa la griglia dall'alta tensione che le sarebbe comunicata attraverso la induttanza L, mentre lascia passare gli impulsi ad alta frequenza. La resistenza ρ collega la griglia al filamento: essa, insieme con la resistenza di cortocircuito del condensatore di griglia, costituisce la resistenza di dispersione, dalla quale dipende la tensione negativa di griglia, ed il rendimento della valvola, come si è visto al nr. 181 (1).

184. - Circuiti ad accoppiamento per mutua induzione (Meissner). — Si possono immaginare due tipi di tali circuiti, secondo che il circuito oscillante è sulla placca (fig. 201) o sulla griglia (fig. 202).

In entrambi i casi una delle f. e. m. (E_p o E_g) è ottenuta nel circuito oscillante come f. e. m. di autoinduzione della induttanza del circuito stesso, mentre

(1) Disponendo la resistenza di dispersione direttamente tra la griglia e il filamento, i due condensatori di griglia e di blocco vengono sostituiti da uno solo: la resistenza di dispersione così disposta sostituisce quella ρ e quella del condensatore di griglia della figura 200.

l'altra f. e. m. è ottenuta per mutua induzione, e cioè su una bobina accoppiata al circuito oscillante.

In entrambi i casi poi, a seconda il senso dell'avvolgimento delle due bobine accoppiate, può avvenire che le due f. e. m. E_p ed E_g ottenute siano opposte di fase, oppure concordanti.

Poichè nel solo primo caso la valvola è generatrice, (mentre è utilizzatrice nel secondo), così vi è un solo modo di avvolgimento che va bene. Nel caso che sia sbagliato, si rimedierà invertendo gli attacchi di una sola delle due bobine accoppiate.

Si esamini il primo circuito (fig. 201). Se una corrente oscillante I si inizia nel circuito oscillante, fra i punti A e B, e cioè tra filamento e placca, si avrà una f. e. m. alternata E_p, che è quella stessa del condensatore, mentre fra B e D, e cioè tra filamento e griglia, si avrà una f. e. m. E_g, ottenuta per effetto della mutua induzione della corrente I sulla bobina di griglia.

Affinchè la valvola sia generatrice occorre che la E_g non solo abbia la fase opposta alla E_p, ma non sia troppo piccola rispetto alla E_p, e quindi che la induzione M (o mutua induzione - nr. 57) fra i due circuiti non sia troppo piccola rispetto alla induttanza L; di conseguenza occorre che l'accoppiamento sia relativamente forte.

Se però l'accoppiamento è troppo forte, allora può avvenire che nel circuito di griglia (la E_g essendo molto forte) si producano correnti eccessive, le quali consumano energia, sottraendola al circuito oscillante a cui la griglia è accoppiata. L'oscillazione in tal caso risulta diminuita. Vi è dunque un accoppiamento ottimo (sempre piuttosto forte). Per poterlo ottenere facilmente, l'accoppiamento stesso si fa regolabile con uno dei metodi indicati al nr. 212.

Se l'accoppiamento, pur essendo abbastanza forte per rendere la valvola generatrice, non è tale da mantenere le oscillazioni, allora la valvola può funzionare da rigeneratrice.

Nella fig. 202, il circuito oscillante essendo sulla griglia, è la E_g che è dovuta alla autoinduzione L del circuito oscillante, mentre la E_p è dovuta alla mutua induzione fra i circuiti; cosicchè se si fa molto forte l'accoppiamento, la E_p potrebbe diventare preponderante rispetto alla E_g, e la valvola non essere più generatrice.

Occorre dunque in questo caso che l'accoppiamento sia relativamente debole per la generazione. Però se l'accoppiamento fosse eccessivamente debole, la E_p sarebbe troppo piccola per mantenere l'oscillazione, e la valvola potrebbe funzionare solo come rigeneratrice.

In questi due circuiti per ottenere la generazione è dunque necessario:

1° assicurarsi che il senso dell'accoppiamento sia giusto, e altrimenti invertire una delle bobine;

2° regolare l'accoppiamento in modo che non sia troppo debole nel caso del circuito oscillante sulla placca, e che non sia troppo forte nel caso del circuito oscillante sulla griglia. I circuiti diventano rigeneratori quando l'accoppiamento è debole, nel primo caso, ed è molto debole, nel secondo.

Questi due circuiti sono molto usati, il primo per la generazione delle o. p.; il secondo per la ricezione con metodo di reazione (o rigenerazione).

Nel seguito di questo capitolo si farà riferimento specialmente al primo di questi due circuiti, come quello più comunemente impiegato per la generazione delle onde persistenti: gli altri circuiti sono pure molto adottati, specialmente per la generazione delle onde corte.

185. - Ordine di grandezza delle correnti e delle tensioni alternate. — La potenza generatrice della valvola dipende sia dall'ampiezza del potenziale alternato di placca E_p, che da quella della corrente alternata di placca I_p. Questa non può superare la metà della corrente di saturazione I_s. Infatti la corrente pulsante complessiva di placca può al minimo ridursi a zero (ma non invertirsi), ed al massimo può raggiungere il valore di saturazione I_s; nelle condizioni più favorevoli si avrà dunque: $i_{po} - I_p = 0$; e $i_{po} + I_p = I_s$, da cui facilmente $I_p = i_{po} = \frac{I_s}{2}$

D'altra parte è facile vedere che l'ampiezza del potenziale alternato E_p non può superare il potenziale costante E_o della batteria anodica. Infatti la fase negativa di E_p coincide con la massima corrente totale di placca, che è una corrente positiva, diretta dalla placca al filamento. In tale fase quindi, la tensione risultante alla placca (cioè la E_o meno la E_p) deve essere positiva rispetto al filamento, per poter determinare una corrente entrante nella valvola. Da ciò si deduce che E_p non può superare E_o. In pratica al massimo la E_p raggiunge l'85 % circa di E_o.

Ora la tensione E_o è sempre di alcune centinaia e può raggiungere le migliaia di volta. Il valore massimo di E_p raggiungerà quindi al più il valore 0,85 E_o. Il suo valore efficace (nr. 34) sarà dunque, nelle condizioni più favorevoli, circa

$$E_{peff} = 0{,}85 \times 0{,}70 \times E_o = 0{,}60\ E_o,$$

cioè poco più della metà di E_o.

La f. e. m. alternata E_g di griglia è sempre minore della E_p, tenuto conto che la sua influenza viene accresciuta per effetto del fattore di amplificazione. In pratica, indicando con μ il fattore di amplificazione, si può ritenere che la E_g sia minore di E_p nel rapporto di un mezzo ad un terzo di μ.

Così nelle valvole grandi aventi $\mu = 50 \div 100$ la E_g potrà essere $15 \div 40$ volte minore di E_p; nelle piccole valvole la E_g può essere di poco minore alla E_p.

La I_s per contro è sempre dell'ordine delle decine o centinaia di milliampere. Il valore massimo di I_p raggiungerà quindi la metà di tale valore, ed il suo valore efficace sarà perciò

$$I_{peff} = 0{,}5 \times 0{,}7\ I_s = 0{,}35\ I_s.$$

La corrente oscillante generata assume generalmente un valore molto maggiore della I_p. Tale valore dipende essenzialmente dalla resistenza del circuito o meglio dal suo decremento (nr. 107); l'ampiezza della c. o. è all' incirca uguale alla ampiezza della componente alternata (I_p) della corrente anodica, divisa pel decremento del circuito.

Questa ampiezza della corrente oscillante, quando si conosca la resistenza in ohm del circuito oscillante, si può pure calcolare approssimativamente conoscendo il rendimento esatto della trasformazione (nr. 181), oppure supponendolo in via approssimativa di 0,50. Si scrive allora che la potenza ottenuta nel circuito oscillante, misurata in watt dal prodotto $R\ I^2_{eff}$, è la metà della potenza erogata dalla batteria, e cioé di $E_o\ i_{po}$: si ha così:

$$R\ I^2_{eff} = \frac{1}{2}\ E_o\ i_{po} \quad \text{da cui:} \quad I_{eff} = \sqrt{\frac{E_o\ i_{po}}{2\ R}} \qquad (65)$$

Ad es.: un circuito oscillante di resistenza 10 ohm è applicato ad una valvola alimentata da una batteria $E_o = 600$ volta, che dà una corrente normale continua di $i_{po} = 30$ milliampere = 0,030 ampere. La corrente oscillante che nelle condizioni normali si potrà ottenere da esso sarà:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{600 \times 0{,}03}{2 \times 10}} = \sqrt{0.90} = 0{,}95 \text{ ampere}$$

Naturalmente i valori ora indicati rappresentano solo l' ordine di grandezza delle quantità esaminate; il loro calcolo esatto sarebbe molto più complicato.

CAPITOLO X.

Produzione di onde smorzate con stazioni a scintilla.

186. - GENERALITÀ. — L'uso delle emissioni a scintilla è stato proibito dalla convenzione internazionale di Washington del 1927, la quale ha stabilito che con il 1° gennaio 1935 tutti gli impianti a scintilla debbono essere aboliti. Si darà qui soltanto qualche cenno di tali impianti.

187. - GENERAZIONE DELLE CORRENTI OSCILLANTI SMORZATE. — Per la generazione delle onde smorzate si utilizza il fenomeno della scarica dei condensatori. Si è visto al nr. 111 che la potenza della scarica dei condensatori consta di tre fattori:

la capacità C del condensatore;

la frequenza n delle cariche (numero di volte al secondo che il condensatore viene caricato);

la tensione V della carica.

Essa si può, come già detto, esprimere con la formula $W = \frac{1}{2} n C V^2$ (watt, μF., KV.).

La lunghezza dell' onda generata è poi data da:

$$\lambda = 1884 \sqrt{LC}$$

dove λ è in m., quando L sia esprèsso in μH e C in μF.

Esaminando separatamente i vari fattori, si vede:

1. - che un aumento della capacità, oltre che accrescere l'energia, aumenta anche la lunghezza d'onda della oscillazione che si genera nel circuito di scarica;

2. - che un aumento del numero delle cariche aumenta la potenza, ma implica una modificazione dei mezzi meccanici o elettrici che si hanno a disposizione per produrre la successione delle cariche.

Per aumentare la potenza è quindi in pratica più comodo accrescere la tensione di carica; ciò che è del resto anche conveniente, in quanto nella formula $W = \frac{1}{2} n C V^2$, mentre la capacità C del condensatore e la frequenza n delle cariche figurano alla prima potenza, la tensione V di carica figura al quadrato.

Per ottenere grande potenza giova quindi disporre le cose in modo che la tensione sia la più elevata possibile.

Si può vedere ad es. quale sia la tensione necessaria per una piccola stazione di 10 watt, nella quale la carica e la scarica si facciano 100 volte al secondo. Se l'aereo è del tipo ad ombrello (1), ed è costituito da 6 fili lunghi ciascuno 25 metri, che partono da un'antenna alta 9 metri, la sua capacità è di circa 50 micromicrofarad; applicando la formula precedente si può dedurre che la tensione necessaria per avere la potenza indicata è di 20.000 volta. Ora, per ottenere una tale tensione occorrerebbero 14,000 pile a secco (oppure 10,000 accumulatori) messi in serie. Basta questa semplice constatazione per far scartare subito l'idea di impiegare pile od accumulatori per tale scopo.

Si può invece, con molta semplicità, ottenere la elevata tensione richiesta, ricorrendo ad un rocchetto di Ruhmkorff (nr. 78), alimentato con corrente continua.

188. - SPINTEROMETRO - APPLICAZIONE DEL ROCCHETTO DI RUHMKORFF. — L'aria è un isolante; tuttavia l'esperienza prova che se una d. d. p. abbastanza elevata viene applicata fra due punti separati da un breve spazio d'aria, allora si stabilisce fra di essi una scintilla, e l'aria compresa cessa di essere isolante, permettendo il passaggio della corrente lungo la scintilla stessa.

La scintilla si presenta come una violenta lacerazione del dielettrico formato dallo strato d'aria interposto, ed è costituita da particelle incandescenti di gas e di vapori dei metalli che compongono i due *elettrodi* fra i quali essa scocca. La scintilla funziona da conduttore dell'elettricità, cosicchè, una volta stabilitasi e finchè essa dura, può passare su di essa una corrente, incontrando una resistenza relativamente debole. Appena cessa la scintilla, l'aria ritorna isolante come prima.

In pratica tuttavia, dopo avvenute molte scintille, e potenti, in uno strato di aria non abbastanza ventilato, si forma tutto intorno una atmosfera carica di particelle elettrizzate, detta jonizzata, meno isolante dell' aria normale, per cui la scintilla scocca con più facilità, e si spegne meno facilmente; anzi nei casi estremi essa può anche persistere, sotto forma di *arco voltaico*. In queste condizioni, non essendo più possibile la carica del condensatore, che risulta cortocircuitato dall'arco, non è neppure più possibile la scarica e quindi la produzione delle oscillazioni. Si dice allora che la *scintilla archeggia*.

Applicando il principio sopra esposto, si può facilmente costruire un dispositivo che possa, con molta semplicità, produrre delle cariche e scariche successive del circuito oscillante. Tale dispositivo, che è quello originariamente impiegato da Marconi nel 1896, risulta dalla fig. 203. Sia J il secondario di un rocchetto, e S una interruzione nel circuito D di scarica del condensatore C., interruzione costituita da due palline metalliche, mantenute a pochi millimetri di

(1) Per i tipi di aerei, vedi nr. 125.

distanza da due appositi supporti. L'insieme di questi e delle palline dicesi *spinterometro,* e la distanza fra le palline dicesi *distanza esplosiva.* Il secondario del rocchetto viene collegato nei punti A e B al circuito del condensatore. In tal modo la carica del condensatore può avvenire fino a che la tensione fra le armature, che è uguale a quella tra le palline, abbia raggiunto il valore per cui può scoccare la scintilla in S. Quando questa avviene, resta ristabilito il completo circuito di scarica, cosicchè può aversi, attraverso alla scintilla, e per tutto il tempo per cui essa dura, la scarica del condensatore, la quale è, costituita, come si è già visto, da una corrente rapidamente oscillante fra le due armature. In pratica la frequenza delle oscillazioni è così grande (nr. 102), che anche nel tempo brevissimo per cui esiste la scintilla possono avvenire molte oscillazioni complete. Ad esempio con la frequenza di un milione (onda di 300 metri), in una scintilla che duri $^1/_{1000}$ di secondo, si potrebbero avere 1000 oscillazioni complete.

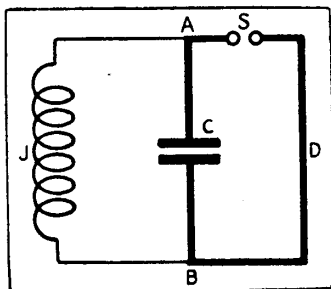



Fig. 203.

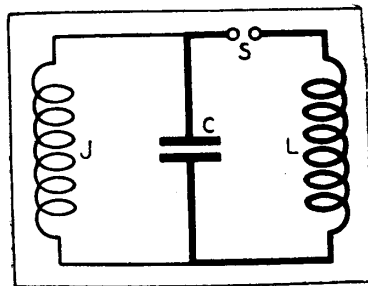



Fig. 204.

Il circuito di scarica va completato con un'induttanza, per avere il circuito oscillante provvisto di tutti i suoi elementi. Si ottiene così la fig. 204, che deriva sia dalla 203, sia dalla 123.

189. - TRENI DI OSCILLAZIONI. — Dopo un tempo brevissimo, essendosi scaricate le armature del condensatore e ridotta la d. d. p. tra le palline, la scintilla si spegne: cessa il corto circuito delle armature, ed il condensatore è pronto per essere nuovamente caricato dal successivo impulso di f. e. m., provocato da una seconda rottura nel circuito primario del rocchetto. Succede allora una seconda carica, con successiva scarica attraverso alla scintilla, e così di seguito. Il circuito oscillante viene dunque percorso da una serie di gruppi di corrente oscillante, alternati con periodi di riposo, durante i quali ultimi avviene la carica del condensatore. Ognuno di questi gruppi di corrente costituisce un *treno di oscillazioni,* la cui rappresentazione è quella della fig. 125; si può così dire che nel circuito oscillante si hanno tanti *treni di oscillazioni* quante sono le interruzioni alla corrente primaria del rocchetto (vedi anche nr. 107 e fig. 128).

Variando la distanza fra le due palline dello spinterometro, si ha la possibilità di variare la tensione alla quale si fa avvenire la scarica del condensatore,

perchè se la distanza è piccola, piccola è la d. d. p. necessaria per la scintilla, e piccola è la tensione alla quale si scarica il condensatore. Se al contrario la distanza tra le palline è grande, pure grande sarà la tensione raggiunta dal condensatore prima della scarica.

190. - DIFETTI DEI ROCCHETTI DI INDUZIONE. - IMPIEGO DELLA C. A. — L'impiego del rocchetto di Ruhmkorff, alimentato a corrente continua interrotta, per ottenere le elevate tensioni richieste, presenta il difetto di frequenti sregolazioni dell' interruttore, sia perchè i contatti si sporcano, sia perchè rapidamente si consumano, con conseguente irregolarità di funzionamento. Si possono adottare altri tipi di interruttori più perfetti di quello a martelletto (come l'interruttore Wehnelt, quello a mercurio, ecc.), i quali offrono anche il vantaggio di avere una frequenza di interruzioni molto maggiore; ma tanto questi come l'interruttore a martelletto non possono impiegarsi con correnti un po' più intense di quelle relativamente deboli che si usano nelle stazioni di piccola potenza. Per trasmettitori di potenza in alimentazione superiore a 0,5 kilowatt, si preferisce perciò usare per la carica del condensatore la corrente alternata, ricorrendo, per l'elevazione della tensione, ad un trasformatore.

191. - CIRCUITI OSCILLANTI ALIMENTATI DA CORRENTE ALTERNATA. — Attaccando al secondario di un trasformatore alimentato da corrente alternata le armature del condensatore di un circuito oscillante, il condensatore viene, ad ogni periodo, successivamente caricato in un senso e nel senso opposto; cosicchè, se la tensione di carica è sufficiente per produrre la scintilla allo spinterometro del circuito, si avranno due scariche ad ogni periodo, e quindi due treni di oscillazioni, e cioè uno per ogni alternanza della corrente, corrispondenti ai due massimi di carica del condensatore. In pratica il numero delle scintille può anche non essere il doppio del numero dei periodi, poichè, se l'intervallo fra le palline dello spinterometro è piccolo, può aversi più di una scintilla per ogni alternanza; e se l'intervallo è troppo forte, può aversi una sola scintilla per ogni periodo od anche ogni due o più periodi.

La fig. 205 è lo schema di un circuito oscillante alimentato da corrente alternata, e con spinterometro a palline. Il tasto sul circuito di alimentazione del primario del trasformatore permette di aprire e chiudere il circuito stesso; durante la chiusura del tasto ($^1/_{10}$ di secondo per un punto, $^3/_{10}$ per una linea), nel trasformatore si succederanno numerosi periodi della corrente alternata, dato che questa sarà per solito di frequenza abbastanza elevata (almeno 180 periodi al secondo). Potendosi avere, in ciascun periodo, una o più scintille allo spinterometro, segue che durante una chiusura del tasto, il circuito oscillante di scarica, comprendente l'induttanza L, sarà percorso da molti treni di oscillazioni (o gruppi di c. o.). La frequenza dei treni è determinata dal circuito d'alimentazione e dalla distanza esplosiva dello spinterometro (nr. 189), mentre la frequenza delle oscillazioni è determinata dai valori di C e di L del circuito di scarica.

192. - Risonanza del circuito di alimentazione (1). — Esaminando le fig. 203-4-5 si può osservare che il secondario del trasformatore ed il condensatore del circuito oscillante costituiscono un circuito con capacità ed induttanza. Siccome esso è percorso da corrente alternata, così nasce la possibilità di ottenere un fenomeno di risonanza, disponendo (come si vedrà più avanti) i valori delle caratteristiche in modo che il circuito abbia la stessa frequenza della corrente alternata di alimentazione. Nel determinare il valore dell'induttanza del circuito bisogna però tener conto anche del primario del trasformatore, col quale il secondario é intimamente connesso. La teoria e l'esperienza dimostrano che il trasformatore tutto intero si comporta come una semplice induttanza, relativamente piccola, L_T, messa in serie in un circuito che comprende l'alternatore con la sua induttanza L_A, ed il condensatore (fig. 206). L' induttanza equivalente al trasformatore è solo quella dovuta alla parte di flusso magnetico del primario che non è abbracciata dalle spire secondarie (flusso perduto); la parte di flusso che è comune ai due circuiti non vi influisce, come se i suoi effetti sui due circuiti si compensassero.

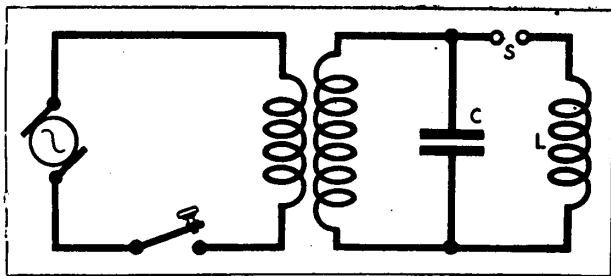
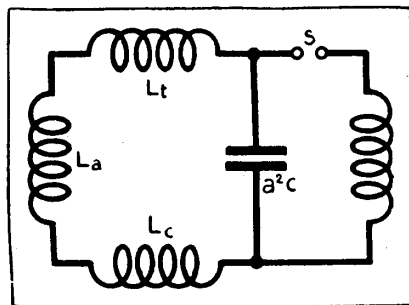



Fig. 205.

Inoltre il condensatore considerato nel modo anzidetto, cioè come se fosse sul primario, agisce come se la sua capacità fosse moltiplicata pel quadrato del rapporto di trasformazione del trasformatore. Ciò è dovuto al fatto che l'energia da esso raccolta è proporzionale al quadrato della tensione secondaria dalla quale è caricato (nr. 46), e che questa è uguale alla tensione primaria moltiplicata pel rapporto di trasformazione (nr. 76).

Fig. 206.

Quando il circuito (fig. 206) ora considerato sia messo in risonanza con la frequenza della corrente alternata di alimentazione, si ottengono i seguenti effetti: un notevole aumento di tensione al condensatore, quindi maggiore rendimento della stazione; una scintilla più regolare, con minore tendenza ad archeggiare; una minore corrente nel primario e quindi minore riscaldamento dei fili.

Per raggiungere la risonanza suddetta basta ricordare che il periodo dei circuiti con capacità ed induttanza è dato dalla formula $T = 2\pi\sqrt{LC}$ (nr. 62 e 110), e che la risonanza si ha quando vi è uguaglianza fra il periodo del circuito e quello della corrente che lo deve percorrere. Si tratterà dunque di variare o la induttanza del circuito o la capacità

(1) Per la risonanza vedi nr. 62 e più avanti i nr. 201 e 202.

del condensatore o il rapporto di trasformazione del trasformatore (perchè da esso dipende la capacità equivalente del condensatore), oppure la frequenza della corrente alimentatrice. Generalmente si usa variare l'induttanza, e poichè spesso è insufficiente l'insieme di quella dell'alternatore e di quella equivalente al trasformatore, così in tal caso si usa mettere nel primario una induttanza aggiunta regolabile Lc, costituita da poche spire di filo grosso avvolte su un nucleo di ferro e detta comunemente *chocker*. La regolazione si fa movendo il nucleo nell'interno delle spire. Nei trasmettitori più recenti lo studio dell'alternatore, della frequenza della corrente, del trasformatore e del condensatore è condotto in modo da dare la risonanza, senza aggiunta di induttanza di regolazione, poichè questa, assorbendo energia, rappresenta sempre una causa di perdita.

La risonanza perfetta è conveniente nel caso che lo spinterometro sia del tipo rotante (nr. 195); quando lo spinterometro è del tipo fisso conviene invece aumentare la capacità (o la induttanza o la frequenza), in modo da superare il valore che essa dovrebbe avere per la risonanza.

193. - SCINTILLA MUSICALE. — Finora non si è avuto occasione di svolgere alcune considerazioni particolari nei riguardi della frequenza della scintilla di scarica. A proposito di tale frequenza si è detto solo che essa è determinata in genere (e cioè quando la distanza spinterometrica è proporzionata alla tensione di carica) dalla frequenza degli impulsi di tensione al secondario del rocchetto, o dal numero di alternanze al secondario del trasformatore; e quindi che essa è uguale o proporzionale alla frequenza delle interruzioni del martelletto, od al doppio della frequenza della corrente alternata. Il numero di scintille per secondo può quindi essere variabile, compreso fra poche diecine e parecchie centinaia, talvolta anche oltre un migliaio; dipendendo questo dagli elementi del circuito di alimentazione e dallo spinterometro. Si supponga ora di essere ad una certa distanza del circuito r. t. e di percepire il rumore prodotto dalle scintille allo spinterometro. Se le scintille sono poche al secondo, ad es. 50, l'impressione che l'udito riporterà dal loro succedersi, sarà quasi come di tanti colpi, separati, analogamente a quanto si prova sentendo battere un tamburo; se il numero di scintille al secondo venisse ad aumentare, si avvertirebbe come un rullo di un tamburo crescente di rapidità; finchè ad un certo punto, superando le scintille il numero di 200 circa al secondo, si avvertirebbe non più un rumore sgradevole, ma un suono di tonalità tanto più alta (e cioè di nota tanto più acuta), quanto più alto è questo numero. Se le scintille fossero ad esempio 435 al secondo, l'orecchio percepirebbe il suono corrispondente alla nota musicale la3.

Dato quanto sopra, si è convenuto di chiamare trasmettitore *a scintilla rauca o rada,* quello cosí costruito da avere allo spinterometro un numero basso di scintille (fino a 200 circa al secondo), e non perfettamente intervallate (rocchetti di Ruhmkorff), appunto perchè l'udito avverte un suono sgradevole o rauco; e di chiamare invece trasmettitore a *scintilla musicale* o *fonica* quello che ha allo spinterometro un numero alto di scintille (sopra 200 circa al secondo), e perfettamente intervallate. Le scintille musicali sono piú efficienti pel loro effetto

acustico nella ricezione, se la loro tonalità è più acuta. I trasmettitori moderni a c. a. hanno perciò come sorgente di energia degli alternatori speciali a frequenza piuttosto alta (fin verso 1000).

194. - VANTAGGI DELLA SCINTILLA MUSICALE. — Possono considerarsi nei riguardi della trasmissione, oppure nei riguardi della ricezione. Si è detto che nella trasmissione l' energia per ogni scarica è $^1/_2 CV^2$, e la potenza della stazione è $^1/_2\, n\, CV^2$, essendo *n* la frequenza delle cariche. A parità di C e di V, se cresce *n* (scintilla musicale) cresce la potenza della stazione; oppure a parità di potenza, per *n* più grande si può diminuire V (non conviene variare C, essendo ad esso legato il valore di λ), cosicchè lo spessore del dielettrico del condensatore può essere ridotto. E poichè riducendo il dielettrico la capacità aumenterebbe, si dovrà anche diminuire la superficie delle armature, o il loro numero; e cioè in definitiva diminuirà il volume del condensatore.

Alla ricezione si ha nel telefono, come si vedrà meglio in seguito, un suono che ha la stessa tonalità della scintilla della stazione trasmittente, e cioè un suono rauco, se il trasmettitore è a scintilla rauca; un suono musicale più o meno acuto, se il trasmettitore è a scintilla musicale, con frequenza più o meno grande.

Ora l'esperienza ha permesso di verificare quanto segue:

1° l' orecchio umano è più sensibile ai suoni puri e musicali, che non ai rumori od ai suoni impuri. La sensibilità è maggiore per le note più acute; ma siccome con queste l' orecchio si stanca più presto, così i suoni che risultano più adatti sono quelli di tonalità compresa fra 600 e 800;

2° oltre alle trasmissioni r. t. si sentono spesso nel telefono del ricevitore dei rumori irregolari ed aspri, detti *disturbi* o *scariche atmosferiche*, dovuti alle perturbazioni elettriche che sempre ed in modo variabile avvengono nell' atmosfera o negli strati superficiali del suolo, e che influenzano i ricevitori come se fossero delle segnalazioni r. t. La scintilla rauca si confonde molto facilmente con tali scariche; mentre la scintilla musicale può da esse distinguersi, senza troppa difficoltà, quando l' orecchio sia esercitato, permettendo così la ricezione anche quando sussistano tali disturbi;

3° poichè la tonalità delle scintille musicali può variare entro limiti molto vasti (da 300 circa a 3000), è possibile costruire diversi trasmettitori con scintille musicali così differenti l' una dall' altra da essere facile, per un orecchio esercitato, di distinguerle, anche quando nel telefono se ne sentissero alcune contemporaneamente; e di seguirne una sola, quella corrispondente alla trasmissione che interessa. La scintilla musicale permette cioè la cosidetta *selezione acustica* delle trasmissioni, la quale non è possibile con le scintille rauche, per la mancanza di purezza del loro suono, e perchè il loro campo di variazione è molto ristretto. Sono perciò più facili con le scintille rauche i disturbi reciproci delle varie trasmissioni.

195. - SPINTEROMETRO A DISCO ROTANTE. — Quando la frequenza delle scariche è elevata, come nel caso delle scintille musicali, l' uso dello spinterometro a due elettrodi fissi dà facilmente origine all' archeggiamento della scintilla. Uno dei modi più semplici per evitare questo dannoso inconveniente è quello di impiegare lo spinterometro a disco rotante Marconi, di cui un tipo è rappresentato nella fig. 207. Il disco isolante D, che può girare rapidamente attorno al proprio asse, porta delle punte metalliche infisse radialmente sulla pe-

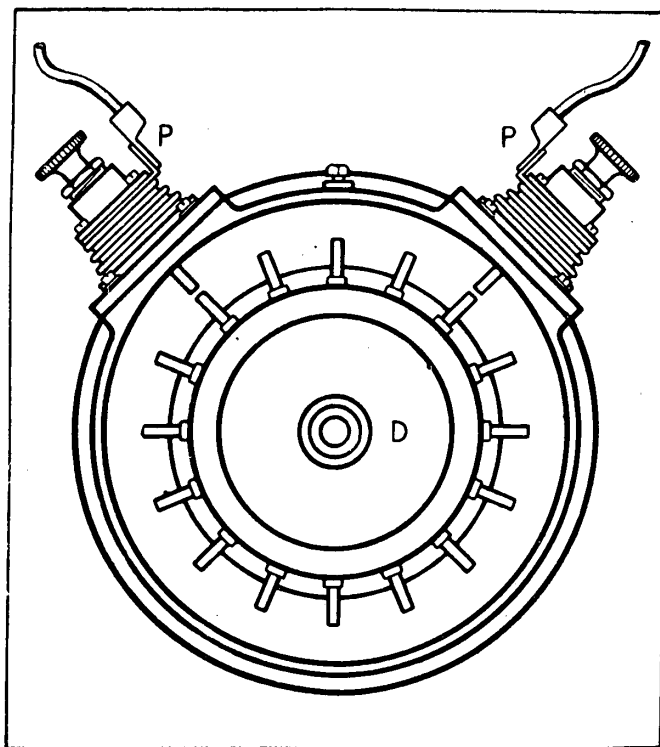



Fig. 207.

riferia, costituita da una corona metallica. Nella rotazione le punte del disco passano di fronte e vicinissime a due punte fisse P P, costituenti gli elettrodi fissi dello spinterometro. Ogni qualvolta due punte mobili vengono a trovarsi in corrispondenza delle punte fisse, si formano due scintille fra le quattro punte, ed attraverso ad esse ed alla corona del disco si scarica il condensatore. La forte ventilazione dovuta alla rapida rotazione del disco, ed il fatto che le punte vengono rapidamente allontanate le une dalle altre, fanno sì che le scintille vengano spente rapidamente, e che sia impedito l' archeggiamento, anche quando si fanno avvenire 700 e più scintille al secondo.

Questo sistema ha inoltre il vantaggio di produrre le scintille ad intervalli perfettamente regolari, e quindi di dare un suono musicale molto puro.

Vi sono due tipi di trasmettitore a disco rotante. Nel primo tipo, per mezzo del disco, si fanno avvenire varie scintille per ogni alternanza della corrente alimentatrice e cioè, durante la carica in un senso del condensatore, questo viene più volte scaricato. Nel secondo tipo, la scarica del condensatore avviene invece una volta sola per ogni alternanza, esattamente al momento di massima carica del condensatore. I due tipi si distinguono, perchè nel secondo il disco ha tante punte quanti sono i poli dell' alternatore, mentre nel primo ha un numero di punte multiplo del numero dei poli. La distinzione fra i due tipi di trasmettitori (monospinterometrico e polispinterometrico) è importante, poichè per avere una sola scintilla per alternanza, occorre regolare esattamente il disco (nr. 196), in modo che la scarica avvenga esattamente nel momento in cui il condensatore è carico al massimo. Ciò non occorre invece quando le scintille sono molte per ogni alternanza. In questo caso inoltre il disco può esser mosso indipendentemente dall'alternatore (disco asincrono), mentre nel primo caso (monospintero), occorre che il disco sia calettato sullo stesso albero dell'alternatore (disco sincrono).

Però quando le scintille sono molte in ogni alternanza, esse avvengono a tensioni diverse del condensatore, e non sono perciò regolarmente uniformi di forza : il suono che ne risulta non è così perfettamente musicale come nel caso di una sola scintilla per alternazione.

196. - Regolazione del disco. — La regolazione del disco monospinterometrico si ottiene spostando in avanti o all' indietro (rispetto al senso del movimento) le punte fisse dello spinterometro, in modo da anticipare o ritardare l' istante in cui le punte mobili vengono ad affacciarsi ad esse. Il senso e l' entità della correzione non sono sempre le stesse ; dipendono in particolar modo dalle caratteristiche del circuito di alimentazione ed anche dalla velocità dell'alternatore, dalla quale dipende la frequenza della corrente alternata alimentatrice del circuito d'alimentazione (nr. 67). Se l'alternatore gira più in fretta, di quanto necessario per la risonanza del circuito d'alimentazione (nr. 192), il disco va *ritardato*, cioè la campana che porta gli elettrodi fissi va spostata nel senso del moto delle punte mobili ; se l' alternatore gira troppo adagio, il disco va *anticipato*. La perfetta messa in *fase* del disco (così si chiama la regolazione ora detta) è molto importante, perchè da essa dipende in buona parte l' efficienza della stazione.

Si riconosce che un disco è ben regolato dal fatto che la corrente primaria si mantiene al suo valore normale : che la tensione dell'alternatore si abbassa un poco, ma non subisce sbalzi eccessivi, quando si chiude il tasto per trasmettere ; che la scintilla ha una nota chiara e sonora ; che la corrente dell' aereo (indicata dall' amperometro) ha il massimo valore ottenibile.

La regolazione del disco non è più necessaria quando, anzichè una sola, si fanno avvenire più di 4 o 5 scintille per ogni alternazione, ed ha un' importanza minore, ma sempre apprezzabile, quando le scintille sono 2 o 3 per alternazione.

CAPITOLO XI.

Vari modi di eccitare gli aerei trasmittenti.

197. — IRRADIAZIONE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE. — Finora si è considerato la generazione della corrente oscillante in un circuito chiuso. Ma, come già si è avuto occasione di rilevare al nr. 113, un tale circuito irradia male nello spazio; mentre a questo riguardo è in migliori condizioni un circuito oscillante aperto, e cioè un circuito d' aereo. È necessario quindi o generare la corrente oscillante direttamente sull' aereo; o trasferire in esso la corrente prodotta in un circuito oscillante chiuso. La prima disposizione prende il nome di *eccitazione diretta* dell' aereo; la seconda di *eccitazione indiretta*.

198. - ECCITAZIONE DIRETTA. — È possibile creare direttamente sull'aereo la c. o., perchè basta ricordare che l'aereo è equivalente ad un circuito oscillante, di cui il condensatore è formato dal complesso dei fili isolati nello spazio e dalla terra sottostante, e la cui induttanza è costituita dagli stessi fili oltrechè dal filo verticale di collegamento dei primi colla seconda. Su tale filo deve perciò essere opportunamente inserito l'apparato generatore di oscillazioni, che potrà essere un semplice spinterometro, oppure un circuito a valvola.

Nel primo caso (fig. 208) il meccanismo di carica e di scarica di un tale condensatore aereo è precisamente identico a quello considerato nel caso del circuito oscillante chiuso (nr. 187, 188 e 191); la scintilla sarà rauca o musicale, secondo che la frequenza delle interruzioni del martelletto o quella della corrente alternata sarà piccola o grande. La c. o. avrà la frequenza determinata dai valori C e L dell' aereo.

Nel caso del trasmettitore a valvola si potrà sostituire l' aereo e la terra al posto delle due armature di uno dei condensatori del circuito generatore. Per es: lo schema della figura 201 può diventare quello della fig. 209.

Questo modo di eccitazione della corrente oscillante, detto eccitazione diretta dell' aereo, è applicato talvolta nelle stazioni di piccola potenza, perchè è quello che per tali tipi dà il migliore rendimento in portata, relativamente alla potenza consumata. Essa ha però notevoli difetti, come si vedrà al paragrafo seguente.

Uno schema completo di trasmettitore r. t. con eccitazione diretta, ad onde smorzate, è dato dalla fig. 210. A è l'aereo, S lo spinterometro, P il primario

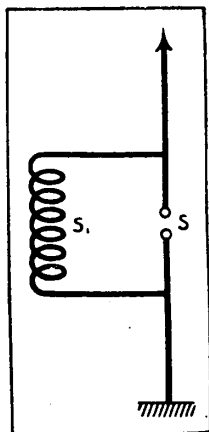



Fig. 208.

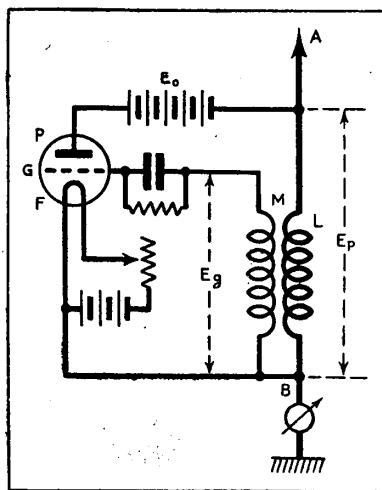



Fig. 209.

e S_1 il secondario del rocchetto, F l'interruttore a martelletto, G il tasto e B la batteria di accumulatori. Uno schema analogo per onde continue è rappresentato nella figura 209 che è ad accoppiamento Meissner (n. 184).

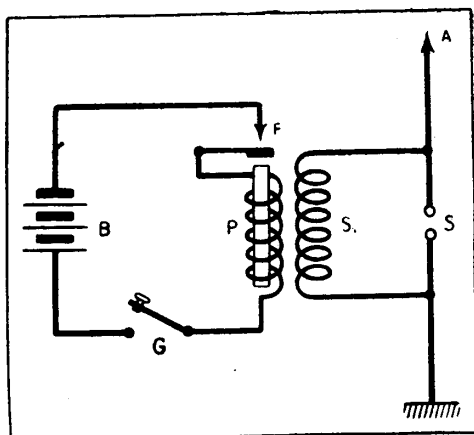



Fig. 210.

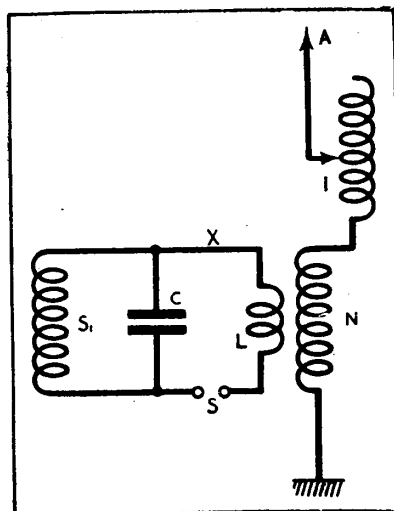



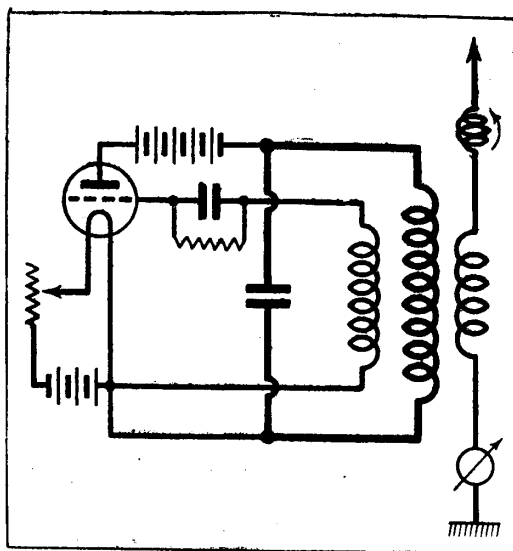
Fig. 211.

199. - Difetti della eccitazione diretta dell'aereo. — Nei generatori a scintilla i difetti della eccitazione diretta erano la *limitata potenza* che si può irradiare e il *grande smorzamento* delle oscillazioni che generano. In quelli

a valvola il difetto più importante è la *poca costanza dell'onda* generata, perchè essa dipende dalle caratteristiche dell' aereo, le quali sono soggette a variare per rallentamento e movimenti dei fili, per l'umidità del terreno, ecc.

200. - ECCITAZIONE INDIRETTA DELL'AEREO. — Mentre i circuiti aperti male si prestano come generatori di oscillazioni, per la incostanza che ne deriva nella frequenza generata, i circuiti chiusi si prestano male come irradiatori di onde. Si deduce quindi la convenienza di combinare possibilmente le proprietà dei due tipi di circuiti per ottenere un complesso che nel caso di oscillazioni continue consenta un grande potere irradiante ed una grande costanza nell'onda generata, e, nel caso di onde smorzate, consenta una grande potenza irradiata ed un piccolo smorzamento. L'esperienza ha mostrato che in gran parte queste proprietà si possono ottenere *accoppiando* i due circuiti come è indicato alle fig. 211 e 212.

Fig. 212.

Nel caso di onde smorzate, il circuito oscillante chiuso X, comprendente la capacità C, lo spinterometro S e l'induttanza L, viene eccitato dal secondario S di un rocchetto o di un trasformatore. Accoppiata con l'avvolgimento L sta un'altra spirale N, facente parte del circuito dell'aereo, sul quale è inoltre inserita una induttanza I variabile.

Praticamente le due spirali L e N costituiscono una specie di trasformatore senza nucleo di ferro e con limitatissimo numero di spire nei due avvolgimenti. La spirale L è il primario; il secondario è la spirale N. Un tale trasformatore senza nucleo di ferro e con poche spire fatte di filo molto ben isolato dicesi *jigger* (1): L, primario del jigger, è inserito nel circuito oscillante chiuso X; N, secondario del jigger, è inserito sull'aereo.

Nel caso del generatore a valvola si può analogamente disporre il circuito, come nella fig. 212, nella quale è indicato un variometro sull'aereo per le variazioni di induttanza nel circuito oscillante aperto (circuito di Meissner - nr. 184).

(1) Pronuncia *gigher*.

Mentre le caratteristiche delle oscillazioni generate in un circuito isolato dipendono dalle costanti elettriche di questo, nel caso di due circuiti accoppiati, dipendono dalle costanti di entrambi i circuiti, poichè in ciascuno di essi la corrente tende ad oscillare con la frequenza propria del circuito.

I fenomeni che derivano dall'accoppiamento di due circuiti sono perciò alquanto complessi e di essi conviene trattare un poco ampiamente, nel capitolo successivo.

Capitolo XII.

Accoppiamento dei circuiti.

201. - Risonanza elettrica. — Si consideri il caso di due circuiti accoppiati. Occorre allora tenere presente:

1° che in ciascun circuito si producono delle oscillazioni aventi la frequenza propria del circuito stesso;

2° che le oscillazioni generate in un circuito inducono, attraverso il jigger, delle correnti sull'altro circuito, le quali hanno naturalmente la frequenza delle oscillazioni inducenti;

3° che in entrambi i circuiti la corrente generata risulta così dalla somma di due correnti parziali, aventi pressapoco le frequenze dei due circuiti.

La massima corrente complessiva si avrà quindi se le correnti parziali sono *costantemente concordanti,* ciò che avviene quando le due frequenze proprie dei circuiti sono eguali. La corrente complessiva sarà minore se le correnti parziali, anzichè essere costantemente concordanti, sono, per tempi più o meno lunghi, in opposizione, come avviene se le frequenze dei circuiti sono diverse. La corrente in entrambi i circuiti diminuisce infatti a misura che aumenta la differenza tra le frequenze, mentre ha la massima intensità quando i circuiti hanno la stessa frequenza propria. In questo caso dicesi che i due circuiti sono *in risonanza* od *in accordo* od *in sintonia.*

Per studiare in modo più completo il fenomeno della risonanza elettrica, è bene ricorrere ad un fenomeno simile, che possa facilmente illustrarsi con esperienze semplici ed evidenti. Ciò si può ottenere ricorrendo alla risonanza meccanica, in tutto analoga a quella elettrica.

202. - Esempio di risonanza meccanica. — Si considerino ad esempio due pendoli P_1 P_2, attaccati ad un funicella tesa fra due punti fissi (fig. 213).

Si ha dalla fisica che la frequenza delle oscillazioni di un pendolo dipende essenzialmente dalla lunghezza della sua funicella. Se le due funicelle si fanno uguali, i pendoli hanno uguale frequenza e sono quindi in risonanza; altrimenti sono in disaccordo. Supponendoli in risonanza, come è il caso della figura, si metta in moto P_1, sollevandolo di poco e poi abbandonandolo a sè; esso potrà rappresentare il circuito primario in oscillazione. Si vedrà allora che per effetto dell' accoppiamento dovuto alle deformazioni della

funicella orizzontale il secondo pendolo P_2, sotto l'azione degli impulsi leggerissimi trasmessi attraverso la fune di sospensione, entrerà in oscillazione, dapprima debole, poi successivamente più forte.

Seguendo attentamente il fenomeno esso così si presenta: all'inizio P_2, per mezzo della fune di sospensione, riceverà un leggerissimo impulso, dovuto alla prima oscillazione di P_1, che lo sposterà ad es. verso l'avanti. Spostato dalla sua posizione, esso si metterà ad oscillare, molto debolmente; un secondo impulso gli verrà dalla seconda oscillazione di P_1, pure molto leggero, ma diretto ancora verso l'avanti; di più esso capiterà proprio nel momento in cui, per effetto dell'oscillazione propria, P_2 starà per tornare precisamente verso l'avanti; il secondo impulso si sommerà in tal modo al primo e l'oscillazione aumenterà di un poco. Alla terza oscillazione di P_1, un altro impulso piccolissimo verrà ancora trasmesso a P_2 dalla funicella, ed ancora esso capiterà nel momento in cui, per effetto della propria oscillazione, P_2 starà per sollevarsi in avanti, cosicchè anche questo si sommerà ai precedenti. Per tal modo, dopo poche oscillazioni di P_1, anche P_2 oscillerà ampiamente. Però gli impulsi di P_1 a P_2 non vengono dati a scatti, come si è supposto ora; essi gli sono comunicati in modo continuo, e ciascuno sempre in accordo con quelli delle precedenti oscillazioni, per cui sempre i loro effetti si sommano, e la oscillazione di P_2 aumenta grandemente.

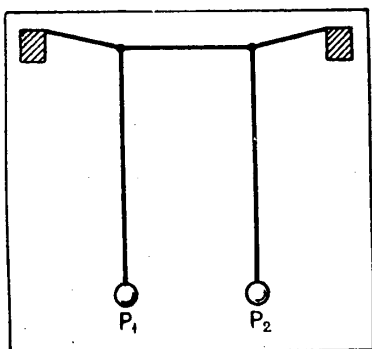



Fig. 213.

Ciò non avverrebbe se P_2 avesse una frequenza propria diversa da quella di P_1. Infatti, posto che le frequenze siano diverse, succederà che qualcuno degli impulsi di P_1 verrà comunicato a P_2 in contrasto con la oscillazione propria, cosicchè avverrà che in qualche istante questa tenderà a mandare il pendolo in avanti, mentre l'impulso di P_1 tenderà a mandarlo indietro; l'oscillazione di P_2 si troverà così più o meno contrariata, quanto maggiore sarà la differenza delle frequenze; perciò il pendolo non potrà assumere che una debolissima oscillazione.

Analogamente avviene nei due circuiti oscillanti della fig. 211 o della fig. 212. Gli impulsi del circuito chiuso eccitatore avranno il massimo effetto sul circuito eccitato quando il secondo sarà in risonanza con il primo. Da ciò risulta la convenienza di avere la risonanza tra i due circuiti, cioè di regolare le caratteristiche dell'aereo (ad esempio variando l'induttanza I nella figura 211 o manovrando il variometro nella fig. 212), in modo che la sua frequenza diventi eguale a quella del circuito oscillante chiuso X.

203. - Reazioni nei pendoli e nei circuiti accoppiati. — Esaminando più attentamente l'esperienza dei due pendoli quando sono in risonanza, si può notare anche un altro fatto importantissimo: si vedrà cioè che, a misura che l'ampiezza della oscillazione di P_2 aumenta, quella di P_1 diminuisce; finchè, quando P_2 oscillerà al massimo, P_1 sarà quasi fermo. Ciò indica che, a poco a poco, tutta l'energia posseduta dal primo pendolo si è trasferita nel secondo.

Se però si lascia continuare il fenomeno, non si tarderà a vedere che, a poco a poco, il primo pendolo riprenderà le oscillazioni sotto l'eccitazione del secondo, il quale, a sua volta, comincerà a diminuire di ampiezza fino a restare, per un istante, quasi fermo, nel

momento in cui P_1 avrà assunto la oscillazione massima. Dopo ciò ricomincerà un nuovo periodo in cui l'energia, che è tornata in P_1, ripassa a P_2, e così di seguito. In questi successivi passaggi però le ampiezze massime assunte alternativamente dai due pendoli vanno sempre diminuendo, fino a che le oscillazioni, per lo smorzamento dovuto alla resistenza dell'aria, finiranno per cessare del tutto.

Si ha dunque nell' esperienza dei pendoli accoppiati un fenomeno di trasferimento alternativo della energia oscillante.

Un fenomeno analogo avviene nei circuiti elettrici accordati ed accoppiati. Nel caso del generatore a scintilla l' energia, che è quella inizialmente accumulata nella carica del condensatore, si mette in oscillazione nel circuito oscillante chiuso. Per risonanza si genera una oscillazione nel circuito aperto, di intensità successivamente crescente, a spese dell' energia del primo circuito; quindi in questo l' energia diminuisce. Quando il circuito aperto oscillerà con la massima ampiezza, nel circuito primario non si avrà più oscillazione, cioè *tutta l'energia* del circuito oscillante sarà passata all' aereo. Continuando il fenomeno, avverrà un successivo passaggio dell' energia oscillante dall'aereo al circuito chiuso, e poi da questo all' aereo, e così via. Nello stesso tempo, per lo smorzamento dovuto sia alle resistenze (della presa di terra, della scintilla e dei fili), sia alla *irradiazione delle onde* (che consuma naturalmente una parte dell' energia), il fenomeno andrà gradatamente spegnendosi.

Nel caso dei generatori a valvola, nei quali l' energia viene continuamente rifornita dal triodo, il fenomeno è alquanto più complicato. In entrambi i casi però il trasferimento di energia dall' uno all' altro circuito è dannoso sia alla purezza che alla stabilità dell'emissione. Esso perciò viene per quanto possibile evitato con adatti dispositivi, e specialmente con la riduzione dell'accoppiamento fra i due circuiti. Per rendersi conto dell' effetto di questa riduzione si può esaminare che cosa avviene quando l' accoppiamento è molto stretto. Si possono distinguere due casi. Nel primo si tratta di generatori a scintilla, nei quali l' energia viene fornita al circuito ad intervalli (una volta per ogni carica); e quindi per qualche tempo le oscillazioni sono mantenute dalla energia iniziale della carica. Nel secondo caso si tratta di generatori a valvola, nei quali l' energia viene fornita ad ogni periodo della oscillazione.

204. - ACCOPPIAMENTO STRETTO NEI CIRCUITI A SCINTILLA - DOPPIA ONDA DI ACCOPPIAMENTO. — Il fenomeno può essere illustrato con le curve *a)* e *b)* della fig. 214. che rappresentano le oscillazioni dei pendoli (o dei due circuiti). Le distanze verticali, come *a b*, indicano l' ampiezza dell' oscillazione, e le distanze orizzontali, come *A a*, indicano il tempo a partire dal principio del fenomeno. Sono portate al disopra del l' orizzontale le alternazioni positive delle oscillazioni, e al disotto quelle negative. Sulle curve *a)* e *b)* si può seguire l' andamento del fenomeno.

Al principio il primo pendolo (o circuito) si mette in oscillazione, cominciando dalla massima ampiezza. Per risonanza anche il secondo comincia ad oscillare, aumentando gradatamente di ampiezza, a misura che diminuisce quella del primo. Dopo 10 mezze oscillazioni nel caso della figura, tutta l' energia è passata al secondo pendolo (o circuito), il quale oscilla con la sua massima ampiezza, mentre il primo è ora fermo (in B).

Gradatamente comincia ora il fenomeno inverso, ed al tempo C tutta l' energia è ritornata sul primo pendolo (o circuito), mentre il secondo è fermo; da C a D si ritorna al massimo sul secondo, e così il fenomeno continua, fino a che lo smorzamento lo fa gradatamente spegnere.

La fig. 214 *a)* rappresenta il modo di oscillare del primo pendolo (o circuito); la fig. 214 *b)* quello del secondo. È importante notare che entrambi questi due modi possono essere rappresentati in altra maniera.

Si considerino a questo scopo le figg. 214 *c)* e 214 *d)*. Esse rappresentano due oscillazioni uguali in ampiezza, ma di frequenza leggermente diversa; infatti per la curva *c)* nel tempo A_1 B_1 (che si può supporre ad es. uguale ad un minuto primo, se si tratta di oscillazione di pendoli, oppure ad es. a 10 milionesimi di secondo, se si tratta di oscillazioni elettriche), vi sono 11 mezze oscillazioni (fig. 214 *c*), mentre per la curva *d)* nello stesso tempo A_2 B_2 ve ne sono 10 (fig. 214 *d)*. La oscillazione *c)* è dunque di frequenza un poco superiore. Si supponga ora che un pendolo (o circuito oscillante) isolato debba

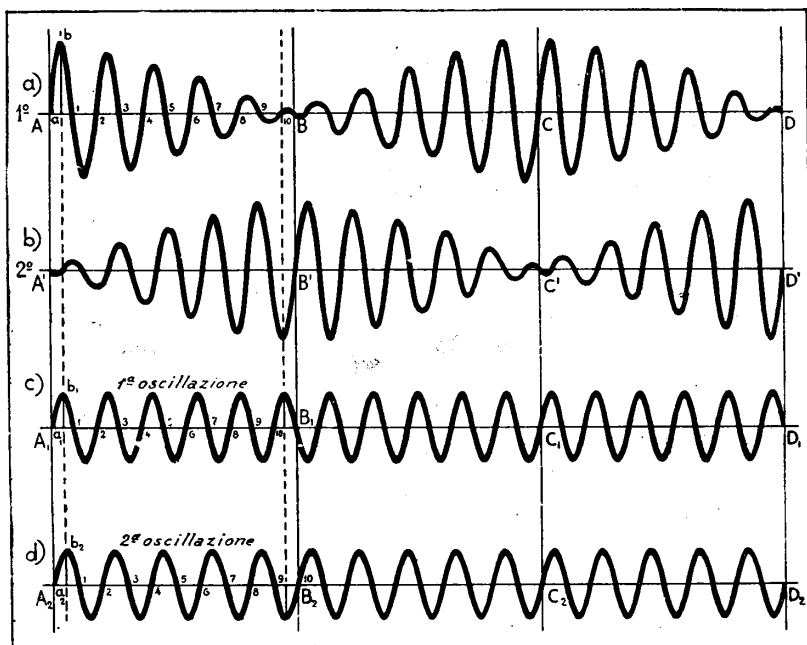



Fig. 214.

oscillare *obbedendo contemporaneamente* alle due oscillazioni *c)* e *d)*. L'oscillazione di un tale pendolo (o circuito) risulta allora come somma delle due oscillazioni componenti; cosicchè negli istanti in cui entrambe gli comunicheranno un impulso positivo, o un impulso negativo, si avrà una oscillazione più grande delle componenti; e quando invece una tende a dargli un impulso positivo e l'altra uno negativo, l'oscillazione risultante sarà la differenza tra le due componenti. Ora una tale oscillazione risultante è appunto rappresentata dalla curva *a*. Infatti all' inizio del fenomeno le due oscillazioni *c)* e *d)* sono concordanti, perchè ad es. i segmenti a_1 b_1 di *c)* e a_2 b_2 di *d)* sono entrambi al sopra dell'orizzontale: la loro somma è precisamente la a b di *a)*.

A misura che l'oscillazione progredisce, le due oscillazioni *c)* e *d)* diventano sempre più discordanti, finchè in prossimità del tempo B, esse sono rappresentate da segmenti che sono precisamente eguali e contrari, perchè l'uno al disopra e l'altro al disotto del-

l'orizzontale ; dunque la loro somma è zero, come è infatti la oscillazione *a)* in prossimità del punto B.

Progredendo ancora, le due oscillazioni *c)* e *d)* ritornano gradatamente d'accordo, finchè in C (C_1, C_2) sono un'altra volta concordanti perfettamente; l'oscillazione *a)* è quindi in C esattamente doppia di ciascuna di esse. Così, continuando il fenomeno, verso D le oscillazioni ritornano ad essere opposte e la *a)* ritorna a zero.

Dunque la oscillazione *a)* di uno dei due pendoli (o circuiti) non è altro che la risultante di due oscillazioni di ampiezza metà e di frequenza leggermente diversa. Dalla figura si vede anche che nel tratto A B (fig. 214 *a*) vi sono 10,5 mezze oscillazioni, mentre ve ne sono 11 nella oscillazione *c*) e 10 nella *d*). Le due frequenze componenti sono dunque una leggermente superiore e l'altra leggermente inferiore a quella della oscillazione risultante *a)*.

La oscillazione *b)* si presenta all'inizio del fenomeno, come la *a)* dopo 10.5 oscillazioni (in B), e prosegue poi precisamente come la *a)* ; anch'essa si deve perciò considerare come la somma delle stesse due oscillazioni *c)* e *d)* ; soltanto esse debbono cominciare in opposizione, anzichè in accordo, come per la oscillazione *a)*.

In definitiva, il modo di oscillare che si è constatato sperimentalmente nei pendoli accoppiati, e che è rappresentato nelle figg. 214 *a)* e *b)*, si puó considerare come dovuto a due oscillazioni componenti *c)* e *d)*, di ampiezza costante e di frequenze leggermente diverse, che agiscano contemporaneamente sui due pendoli (1).

Nel caso dei circuiti accoppiati non è possibile seguire materialmente il modo di oscillare delle cariche elettriche, come si fa con i due pendoli, ma si può avere una conferma sperimentale non meno evidente del fenomeno, per mezzo di un apparecchio apposito (ondametro), col quale si può verificare che quando due circuiti oscillanti sono molto accoppiati ed in risonanza, si generano due onde di frequenze tra di loro poco diverse.

Concludendo si può dire che il trasferimento alternativo dell'energia oscillante dall'uno all'altro dei due sistemi oscillanti, conseguenza del loro accoppiamento, equivale perfettamente all'insieme di due oscillazioni che esistano contemporaneamente nei due sistemi.

205. - Smorzamento ed ampiezza delle oscillazioni componenti. — Il fenomeno, come è stato analizzato, non è perfettamente conforme alla realtà, perchè non si è tenuto conto del fatto che le oscillazioni, tanto dei pendoli come dei circuiti oscillanti, sono smorzate, quando l'oscillazione è determinata da una carica iniziale che viene lasciata libera di oscillare per un tempo molto più lungo del periodo del fenomeno. L'esperienza ha dimostrato che, in conseguenza dello smorzamento delle oscillazioni risultanti, anche le componenti *c)* e *d)* sono smorzate, ed inoltre che le loro ampiezze non sono perfettamente uguali come risulterebbe dalla figura.

Si è trovato inoltre che, come avviene per le frequenze, così pure gli smorzamenti e le ampiezze delle due oscillazioni componenti sono fra di loro poco diverse ; e precisamente la oscillazione di maggiore frequenza (minore lunghezza d'onda) è la più energica, ma anche la più smorzata. La differenza è però piccola, e dipende dal fattore di accoppiamento di cui si dirà in seguito ; presso a poco le due oscillazioni componenti hanno come ampiezza la metà dell'ampiezza massima risultante, e come smorzamento la media degli smorzamenti dei due circuiti (chiuso ed aperto) prima del loro accoppiamento.

---

(1) Su tale argomento vedi anche il nr. 280.

206. - Fattore di accoppiamento. — Si è detto che le differenze tra ampiezze, frequenze e smorzamenti delle due oscillazioni componenti sono sempre piccole; è stato provato che su queste differenze influisce il cosidetto *fattore di accoppiamento* (chiamato anche semplicemente *accoppiamento*).

L'accoppiamento dicesi *forte* se la reazione fra i due circuiti è molto forte, *debole* nel caso contrario. Se le due spirali del jigger sono molto vicine tra loro, la loro reciproca influenza, e quindi la corrispondente reazione delle due oscillazioni, é molto grande; al contrario, se le due spirali si allontanano, diminuisce la loro influenza e quindi la reazione tra le due oscillazioni. L'accoppiamento è perciò l'indice dell'entità delle reazioni fra i circuiti, e dipende dalla reciproca influenza delle due spirali del jigger.

Questa influenza è detta *mutua induzione* fra i due circuiti accoppiati (nr. 57).

Se fra due circuiti oscillanti la mutua induzione è forte, sarà pure forte l'accoppiamento, e di conseguenza sarà più forte la reazione reciproca fra le correnti oscillanti che li percorrono. Inoltre, a parità di mutua induzione, l'accoppiamento fra i due circuiti sarà più forte se essi non hanno induttanza fuori del jigger, perchè in tal caso tutto l'effetto di induzione magnetica di un circuito influisce sull'altro circuito e la reciproca reazione è perciò piú forte; mentre se c'è una forte induttanza esterna al jigger in uno od in entrambi i circuiti, la corrente rimane prevalentemente influenzata da essa, e risente in minor grado l'influenza del circuito accoppiato; la reazione fra i due circuiti risulta diminuita, e quindi anche il fattore di accoppiamento sarà minore. Il fattore di accoppiamento si suole indicare con il rapporto fra la mutua induzione e la media geometrica delle induttanze dei due circuiti:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}, \qquad (66)$$

essendo M, L_1, L_2 misurati con la stessa unità. Così se $L_1 = 100\ \mu H$ $L_2 = 200\ \mu H$, e ad es: $M = 15\ \mu H$, sarà $K = \frac{15}{\sqrt{100 \times 200}} = \frac{15}{141}$ e cioè circa l' 11°/₀.

207. - Influenza del fattore di accoppiamento. — Si può ora esaminare come il fattore di accoppiamento influisca sulle due oscillazioni che risultano per effetto dell'accoppiamento stesso.

Nella fig. 214 si vede che il tempo A B necessario perchè tutta l'energia oscillante del primario *(a)* sia passata al secondario *(b)* è pure quello durante il quale, avendo la oscillazione componente *c)* compiuto 11 semioscillazioni, l'altra oscillazione *d)* ne ha compiute solo 10, cioè esattamente una di meno. Ciò deriva dal fatto che, essendo *a)* la somma delle *c)* e *d)*, occorre, per ridurla dalla massima ampiezza (A) a zero (B), che le due componenti *c)* e *d)*, da concordanti perfettamente (A), si riducano in perfetta opposizione (B), ciò che avviene appunto dopo che la oscillazione più rapida si trova ad aver compiuto esattamente una semioscillazione in più della più lenta.

Nel caso della fig. 214 la differenza fra le durate delle due oscillazioni *c)* e *d)* è di una semioscillazione ogni dieci; e perciò l'annullamento della energia primaria avviene in dieci semioscillazioni della più lenta: se la differenza fosse invece di una ogni cinque, l'annullamento avverrebbe dopo cinque semioscillazioni; e se fosse di una su cento, avverrebbe dopo cento semioscillazioni. Dunque quanto più grande è la differenza tra la

durata delle semioscillazioni componenti, e tanto più rapido è il passaggio dell'energia dal primario al secondario; e, viceversa, quanto più piccola sarà tale differenza e tanto più lento il passaggio dell'energia.

Ma la rapidità del passaggio dell'energia dall'uno all'altro dei circuiti dipende dalla più o meno forte reazione tra di essi, cioè dal loro più o meno forte accoppiamento.

Di conseguenza l'accoppiamento forte, determinando un passaggio rapido dell'energia dall'uno all'altro circuito, creerà due oscillazioni componenti di frequenza molto diverse l'una dall'altra, e cioè due oscillazioni nettamente distinte. All'opposto un accoppiamento lento o debole genererà due oscillazioni di frequenze tra loro poco differenti, ed entrambe pressapoco uguali alla frequenza comune dei due circuiti.

208. - Inconvenienti della doppia onda - Limiti dell'accoppiamento. — Sempre con riferimento al caso dei trasmettitori a scintilla, se l'accoppiamento fra circuito generatore e aereo è piuttosto forte, si otterranno due oscillazioni in entrambi i circuiti. L'aereo, funzionando da circuito secondario, percorso dalle due oscillazioni di frequenza diversa, genererà due onde di lunghezza diversa, tanto più diverse quanto più forte è l'accoppiamento.

Ora gli apparecchi di ricezione non possono essere influenzati contemporaneamente da onde di lunghezze molto diverse; ed allora, una sola delle due onde irradiate viene ricevuta; l'altra, non solo produce un inutile consumo di energia, ma recherà disturbo e danno ad altre comunicazioni. Da ciò la necessità di evitare accoppiamenti troppo forti in trasmissione, affinchè le onde generate siano tra loro poco diverse, e possano così influenzare entrambe gli apparecchi di ricezione della stazione ricevente, senza disturbare le altre stazioni.

D'altra parte è opportuno osservare che un accoppiamento eccessivamente debole fra primario e secondario eccita troppo debolmente le oscillazioni di questo, e riduce perciò l'energia irradiata. L'accoppiamento deve quindi essere debole (10 ÷ 20 per cento od anche meno), ma non eccessivamente.

Il valore più conveniente non è costante, ma varia da tipo a tipo di stazione. Esso si determina praticamente, dapprima aumentandolo fino a che si comincino a distinguere nettamente le due onde, poi diminuendolo di poco, in modo che tale distinzione non sia più avvertibile. Così si è certi che entrambe le onde influenzano l'apparecchio di ricezione, e che d'altra parte l'accoppiamento non è troppo debole.

209. - Eccitazione per urto o per impulsione. — L'accoppiamento molto forte è tuttavia usato in alcuni sistemi di radiotelegrafia in cui s'impiegano le così dette scintille spente (sistemi Telefunken, Lepel, Lorentz), le quali sono scintille che si spengono subito dopo il primo trasferimento dell'energia dal circuito chiuso all'aereo (p. es. all'istante B della fig. 214). In tale modo, a quell'istante, il circuito oscillante chiuso resta interrotto dalla distanza esplosiva non più attraversata dalla scintilla, e perciò non può oscillare ulteriormente; l'energia non può ritornare su di esso dall'aereo, cosicchè questo, che in quell'istante è al massimo della oscillazione, la prosegue come se fosse isolato e non accoppiato, cioè con la frequenza e la lunghezza d'onda sua propria, e con lo smor-

zamento suo proprio. Il sistema di eccitazione indiretta che si ha in questo caso, e che dà un'onda unica in trasmissione, prende il nome di eccitazione *per urto* o *per impulso.*

210. - SPINTEROMETRI FISSI A SCINTILLA SPENTA. — Lo spegnimento rapido delle scintille, di cui si è detto al numero precedente, si ottiene sfruttando la proprietà rilevata praticamente che la tensione per millimetro necessaria per far avvenire una scintilla fra due elettrodi è massima quando gli elettrodi sono affacciati per superficî piane e fredde, alla distanza di circa $^2/_{10}$ di $^m/_m$. Con tale spinterometro nel primario, e usando forti accoppiamenti con il secondario, il fenomeno oscillatorio nel circuito primario cesserà ben presto. Infatti, durante la prima fase di trasferimento della energia all'aereo, la tensione nel primario diminuirà rapidamente, finchè, non essendo più sufficiente per mantenere la scintilla, questa si spegnerà; e poichè l'irradiazione dell'aereo esaurisce rapidamente l'energia disponibile, la tensione che nella seconda fase l'aereo determinerà per induzione nel primario non potrà raggiungere il valore iniziale, e non sarà perciò sufficiente per far scoccare la scintilla, data la speciale difficoltà che questo tipo di spinterometro oppone allo stabilirsi di essa. Il circuito primario rimane perciò interrotto ed in riposo, mentre il secondario continua ad oscillare come se fosse isolato.

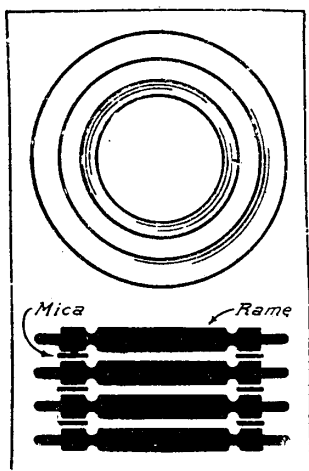



Fig. 215.

Mettendo in serie varie scintille di $^2/_{10}$ di $^m/_m$, si può raggiungere nel complesso l'intervallo spinterometrico corrispondente alla tensione di scarica che si vuol adottare.

Perchè il fenomeno avvenga come si è descritto, è però necessario che, appena spenta la scintilla, lo spazio interposto riprenda subito la propria rigidità dielettrica, cosicchè la scintilla non possa riaccendersi per effetto della tensione determinata nel primario dalla oscillazione secondaria; ciò si ottiene mediante un energico raffreddamento degli elettrodi, la scelta opportuna del metallo che li costituisce, e la speciale lavorazione delle superficî. Generalmente gli elettrodi si fanno di metallo speciale (argento tirato a specchio o rame argentato brunito), e si muniscono di alette di raffreddamento, per solito di rame. Ogni elettrodo dello spinterometro acquista così l'aspetto di un piatto o disco di rame (fig. 215) di forma varia, che porta applicati sulle due faccie due elettrodi; e tutto lo spinterometro risulta costituito da una colonna di tali dischi, sovrapposti l'un l'altro, tenuti insieme da bolloncini di montaggio, separati e mantenuti tra loro elettricamente isolati mediante opportuni dischetti di mica dello spessore di $^2/_{10}$, in modo che fra elettrodo ed elettrodo si abbia precisamente l'intervallo d'aria di $^2/_{10}$ di $^m/_m$ circa.

Anche con lo spinterometro a disco ruotante di cui al nr. 195 si può raggiugere lo scopo di interrompere il circuito primario dopo il primo trasferimento dell'energia sull'aereo, in modo che esso non possa riattivarsi per effetto della reazione dell'aereo. In questo caso l'interruzione è dovuta all'allontanamento meccanico degli elettrodi per effetto della rotazione del disco. Il risultato sopraddetto non si raggiunge però pienamente con i dischi rotanti in uso nelle piccole stazioni, essendo in essi insufficiente la velocità periferica dello spinterometro.

Nell'eccitazione ad impulso occorre osservare che dall'accoppiamento dipende la rapidità con cui l'energia passa dal primario all'aereo, e che tale rapidità deve essere in relazione con la velocità di raffreddamento degli elettrodi. Esiste quindi un valore di accoppiamento che dà il miglior funzionamento, ma che non può essere stabilito a priori; perciò in genere l'accoppiamento viene fatto regolabile, onde poterlo variare a piacimento, per fargli così assumere il valore migliore, che sarà quello che dà la massima corrente sull'aereo, l'onda più pura e la scintilla più chiara e musicale.

211. - INFLUENZA DELL'ACCOPPIAMENTO NEI TRASMETTITORI A VALVOLA - FENOMENO DELLO STIRAMENTO DI ONDA. — Il fenomeno della doppia onda di accoppiamento, quale è stato ora esaminato, si manifesta nei trasmettitori a scintilla, perchè nel primario l'energia oscillante è lasciata libera di oscillare; esso non avviene nei trasmettitori a valvola. In questi infatti l'energia viene fornita al circuito ad ogni periodo, mediante il flusso di elettroni che la valvola manda all'armatura negativa del condensatore, una volta in ciascun periodo della corrente. Questo meccanismo esclude di massima la possibilità di ottenere contemporaneamente oscillazioni di due differenti periodi; cosicchè, anche con circuiti fortemente accoppiati, si ha normalmente un'unica oscillazione in entrambi i circuiti. La reazione eccessiva fra i due circuiti si manifesta invece in altro modo, e cioè mediante la instabilità e la irregolarità del funzionamento, caratterizzato dal fenomeno dello stiramento d'onda. Ecco in che cosa esso consiste.

Se ad un circuito generatore a valvola si accoppia ad es: un aereo, e si cerca di accordare questo sull'onda del generatore per avere la massima corrente d'aereo, si possono verificare due casi. Nel primo, corrispondente ad un accoppiamento molto debole, avverrà che a misura che l'aereo si accorda col generatore, la corrente d'aereo aumenta e quella del generatore diminuisce, fino all'accordo perfetto; oltrepassato l'accordo, continuando a variare la frequenza dell'aereo, la corrente in esso comincia a diminuire ed a crescere quella nel generatore. Si ha cioè un solo massimo di corrente d'aereo, molto netto, in corrispondenza della risonanza. Inoltre l'onda che si ottiene è sempre sensibilmente costante, e uguale a quella propria del generatore (fig. 216, curva di destra).

Nel secondo caso, corrispondente ad un accoppiamento molto stretto, il fenomeno è più complicato. E precisamente: se si varia il periodo dell'aereo per accordarlo con quello del generatore, partendo dall'aereo molto disaccordato, si

avrà dapprima un aumento di corrente nell'aereo e una diminuzione nel generatore, e questo aumento si manterrà anche dopo raggiunto l'accordo perfetto fra i due circuiti. Continuando a variare l'aereo nello stesso senso, si otterrà ad un certo punto un cambiamento brusco nelle correnti: quella d'aereo diminuirà di colpo e quella del generatore salirà di colpo, e tale nuovo senso di variazione di corrente si manterrà se si continua a variare l'aereo nello stesso senso.

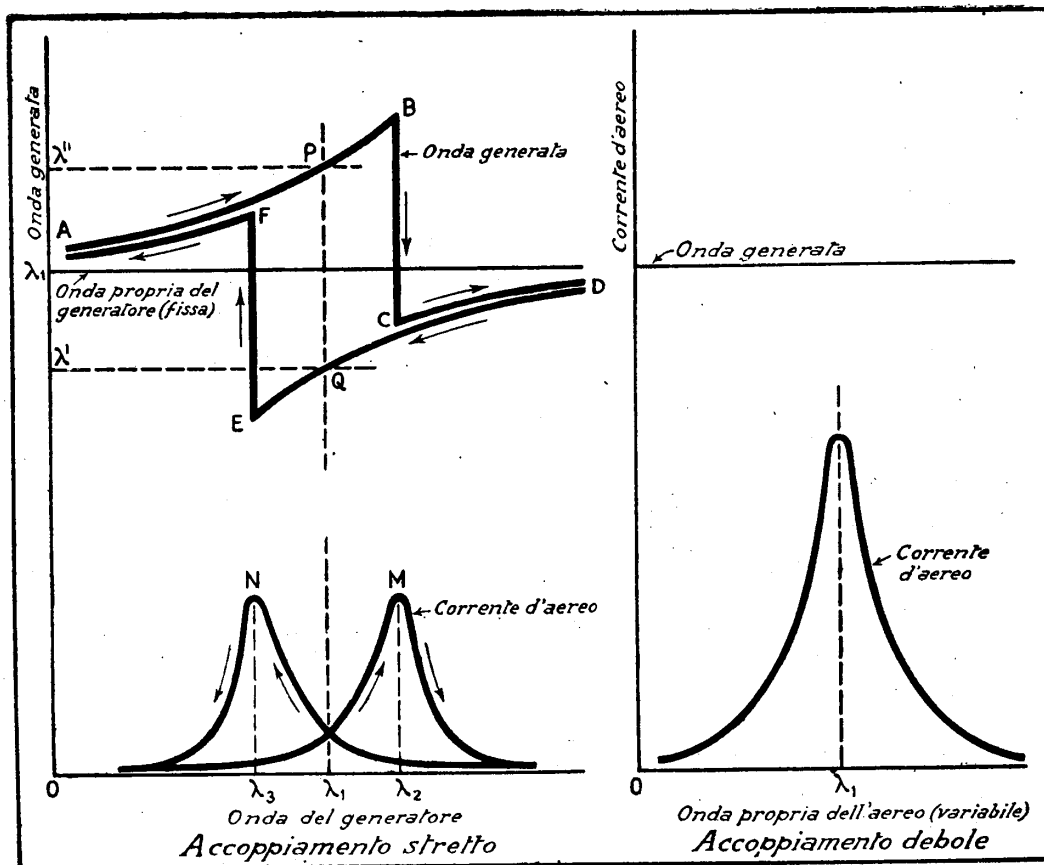



Fig. 216.

Se però dopo il cambiamento brusco si volesse ritornare indietro nell'accordo dell'aereo, si otterrebbe un aumento della corrente di aereo e una diminuzione del generatore, che si manterranno anche dopo oltrepassato l'accordo perfetto, fino ad ottenere nuovamente una inversione brusca del fenomeno (fig. 216, curve di sinistra).

Se, oltre che alle correnti, si farà attenzione all'onda emessa si potrà rilevare che a misura che la frequenza propria dell'aereo si avvicina a quella del generatore, l'onda generata varierà leggermente nello stesso senso, e ciò fino

ad accordo oltrepassato, dopo di che, continuando a modificare nello stesso senso l'onda propria dell'aereo, l'onda generata (che è la stessa in entrambi i circuiti) cambierà di colpo, (da B a C), per assumere un valore maggiore di quella propria del generatore, se prima ne era minore, e viceversa. Se a questo punto si modifica in senso inverso l'onda propria dell'aereo, l'onda generata avrà le variazioni in senso inverso al precedente, e le variazioni continueranno anche dopo raggiunto l'accordo, fino a che, bruscamente, (da E a F) l'onda cambierà di valore. I cambiamenti bruschi di lunghezza d'onda avvengono contemporaneamente ai cambiamenti bruschi di corrente (punti M e N), di cui si è detto prima.

Si noti che le due onde sulle quali avviene l'oscillazione sono precisamente le due onde di accoppiamento: l'oscillazione si verifica su una delle due e precisamente: se l'aereo parte da un'onda più lunga e si avvicina all'accordo accorciando l'onda, l'oscillazione avviene sull'onda più corta delle due di accoppiamento; e viceversa, se l'aereo è partito da un'onda corta e si avvicina all'accordo allungandola, l'onda generata sarà la più lunga. In ogni caso l'onda di oscillazione viene mantenuta anche al di là dell'accordo e, cambia bruscamente dopo superato l'accordo; e cioè si ha come uno stiramento dell'onda oltre l'accordo. Un accoppiamento eccessivo fra generatore ed aereo dunque fa sì che l'onda emessa non solo non è quella del generatore, ma varia con la perfezione dell'accordo, e intorno a questo è instabile, potendo passare bruscamente da un valore ad un altro diverso. In molti casi può aversi anche il disinnesco delle oscillazioni.

L'accoppiamento eccessivo è pertanto dannoso tanto nei trasmettitori a scintilla (doppia onda), quanto in quelli a valvola (stiramento d'onda). È quindi sempre necessario assicurarsi, con ripetute variazioni dell'accordo dell'aereo, che l'accoppiamento sia abbastanza debole perchè si abbia un massimo molto netto di corrente sull'aereo, in corrispondenza di un solo valore dell'onda propria di questo; e che sia sempre lo stesso, sia che si proceda allungando l'onda che accorciandola. Inoltre, mediante un ondametro, occorre accertarsi che l'onda generata sia una sola, praticamente costante durante tutte le prove.

212. - METODI PER VARIARE L'ACCOPPIAMENTO FRA DUE CIRCUITI OSCILLANTI. — Il metodo più semplice per diminuire l'accoppiamento fra due circuiti è quello di allontanare l'una dall'altra le due spirali accoppiate. Tale allontanamento si può fare sia nel senso dell'asse delle spirali (fig. 217), sia nel senso perpendicolare all'asse (fig. 218), ma mantenendo sempre le due spirali con gli assi paralleli, cosicchè le linee di forza magnetica generate da una spirale entrino più o meno nelle spire dell'altra.

Un altro sistema consiste nel far ruotare una delle spirali, di guisa che il suo asse si inclini rispetto a quello della spirale fissa, fino anche a diventare normale ad esso (fig. 219). In questa ultima posizione le linee di forza generate

da una spirale non entrano nell'altra, e l'effetto d'induzione si riduce quasi a zero. Effetti intermedi si ottengono nelle posizioni intermedie della spirale mobile.

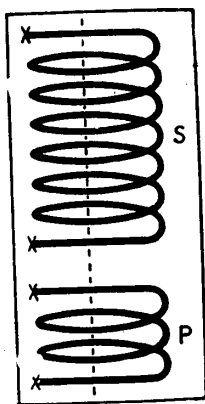



Fig. 217.

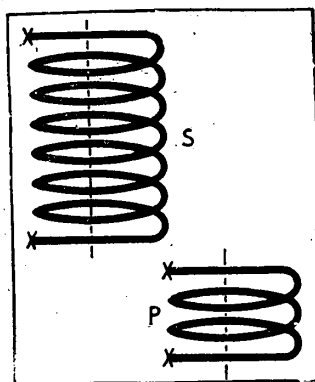



Fig. 218.

Questo secondo metodo è molto conveniente perchè permette di ottenere accoppiamenti variabili entro grandi limiti, senza aumentare lo spazio occupato dalle spirali; esso è quello ottenuto con i variometri, di cui si disse al nr. 64.

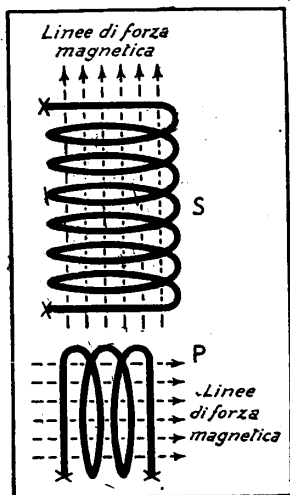



Fig. 219.

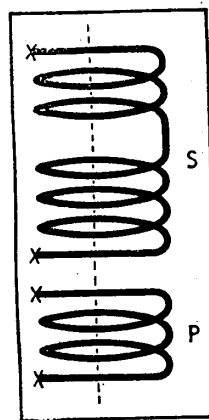



Fig. 220.

Un ultimo modo di variare l'accoppiamento consiste nel diminuire il numero delle spire nelle spirali accoppiate, aumentandole esternamente, in modo che esse non concorrano più all'accoppiamento (fig. 220). Se per esempio si ha nell'aereo il secondario del jigger ed una induttanza d'aereo, si potrà, pur mantenendo

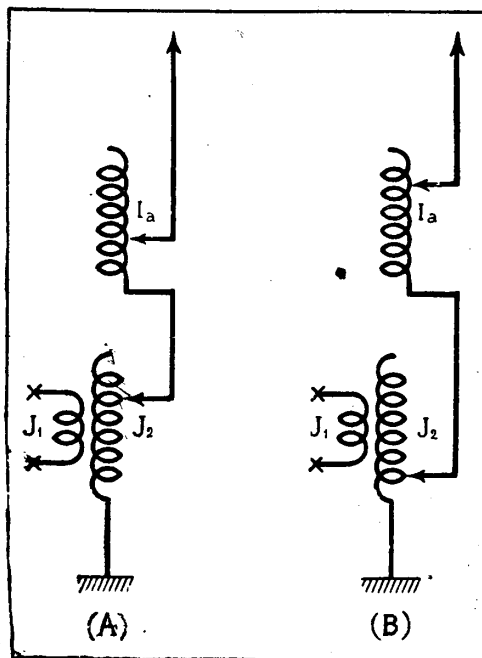
costante il numero delle spire dell'aereo, prenderne più sul secondario del jigger che sulla induttanza d'aereo (fig. 221-*A*), oppure viceversa (fig. 221-*B*); nel primo caso l'accoppiamento sarà più forte che non nel secondo, perchè le spire accoppiate sono minori nel secondo che nel primo.

213. - SINTONIZZAZIONE DEI CIRCUITI NELLA ECCITAZIONE INDIRETTA. — La sintonizzazione della trasmissione consiste nell'accordare su una stessa onda il circuito d'aereo e quello primario oscillante, in modo da ottenere la risonanza fra i due circuiti, e quindi la massima corrente sull'aereo. A questo scopo si usa mettere, tanto sull'aereo come sul primario, una induttanza o un condensatore di regolazione; nei circuiti a scintilla di solito si usa un' induttanza (fig. 222); in quelli a valvola si usa spesso anche un condensatore. Il modo più semplice per procedere alla sintonizzazione dei due circuiti (fig. 222) è il seguente:

Fig. 221.

Stabilita la lunghezza d'onda che si vuole impiegare, si farà azionare il circuito generatore, dopo avere staccate le connessioni dell'aereo e della terra dal secondario del jigger, in modo che l'aereo non entri in oscillazione, e non possa influire con la sua reazione. Con un ondametro (1) disposto vicino al primario, si misurerà l'onda che esso emette; se essa risulta più lunga di quella stabilita, si dovrà diminuire l' induttanza o il condensatore di regolazione; se sarà più corta, si dovrà invece aumentare la detta induttanza o il condensatore: si ripeterà poi la misura e, occorrendo, si varierà ancora la induttanza o il condensatore, fino ad ottenere nel primario l'onda voluta.

Ciò posto si riconnetterà il secondario del jigger con l'aereo e con la terra, e si farà ancora azionare il circuito di trasmissione. Se l'aereo fosse eventualmente già accordato col primario, si otterrebbe in esso una forte corrente, che sarà invece più debole se sarà in disaccordo; per verificare l'accordo occorrerà dunque solo apprezzare l' intensità della corrente che percorre l'aereo. A questo scopo si metterà sull'aereo, vicino alla terra, un amperometro termico che misurerà direttamente la corrente stessa.

---

(1) Per l'ondametro vedi nr. 111 e seg.

Allo stesso scopo si può usare la *lampadina di sintonia* (L_a) al posto dell'ampermetro, inserita come nella fig. 222, e cioè derivata su una semplice spira dell'aereo, vicino alla terra. In serie con essa si collega una resistenza R variabile, in modo che solo una parte della corrente d'aereo percorra R e la lampadina. Se la corrente d'aereo è molto intensa, la lampadina ha un' incandescenza vivace; se è poco intensa, l'accensione sarà debole od anche mancherà completamente. Regolando la resistenza R si potrà evitare che l'accensione sia troppo vivace, col pericolo di fulminare la lampadina, oppure che manchi completamente; aumentando infatti la resistenza R della derivazione che contiene la lampadina, la corrente preferirà passare per l'altra derivazione dell'aereo.

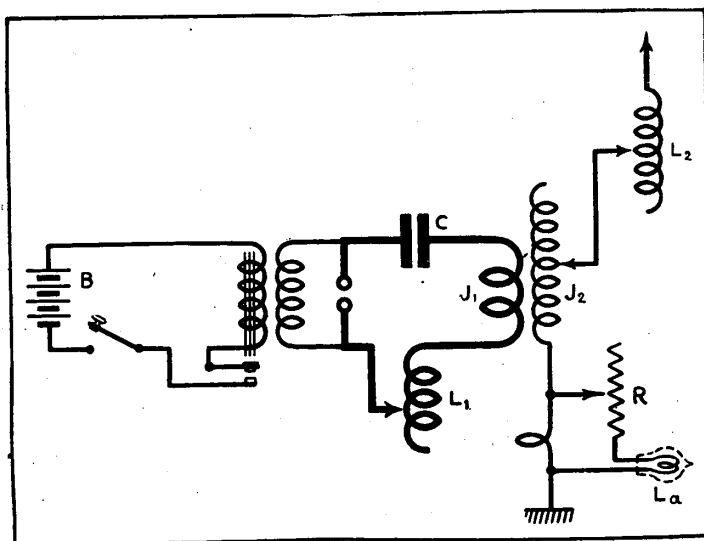



Fig. 222.

L'accordo del circuito si farà nel modo seguente: disposto il minimo numero di spire nel secondario del jigger, con la resistenza di regolazione della lampadina tutta inclusa, si trasmetterà una linea lunga qualche secondo, osservando se la lampadina si accende: occorrendo si diminuirà R, fino ad ottenere, se possibile, un leggero arrossamento del filamento: ciò fatto si aggiungerà qualche spira al secondario del jigger, senza modificare R, e si farà ancora una linea lunga, osservando la lampadina. Se essa si illuminerà di più, si continuerà ad aumentare le spire del secondario, e si rifarà la prova; e così via, finchè si noterà una diminuzione nella incandescenza: ciò significa che si è oltrepassato l'accordo: allora si proverà a togliere spire. Si verificherà così quale è il numero di spire che dà la massima incandescenza, a parità di R. Se non fossero sufficienti le spire del secondario, si ricorrerà all' induttanza di regolazione, e nello stesso modo si troverà il numero di spire più conveniente di questa.

Ciò fatto con l'ondametro si misurerà l'onda emessa da tutto il complesso trasmittente. Nei trasmettitori a scintilla può darsi in tal caso che si riescano a distinguere due onde. Ciò significherà che l'accoppiamento fra primario e secondario è troppo forte: e si potrà diminuirlo.

Nei trasmettitori a valvola può darsi che quando l'aereo è prossimo all'accordo si abbiano dei salti bruschi nella corrente d'aereo e nella lunghezza d'onda o che il generatore si disinneschi. Ciò significherà che l'accoppiamento è troppo forte. In entrambi i casi, se il primario ed il secondario sono spostabili, si allontaneranno un poco l'un dall'altro, fino ad ottenere una sola onda costante e regolare: se ciò non si potesse fare, si proverà a togliere alcune spire del secondario, aggiungendone altrettante dell' induttanza d'accordo.

Quando nel primario si dispone di un' induttanza di regolazione variabile con continuità (senza salti), come un variometro, si potranno fare delle piccole variazioni in più e in meno di quest' ultima, osservandone attentamente l'effetto sulla lampadina, e fermandosi alla posizione di incandescenza massima.

Talvolta, per mezzo di tabelle, si conosce l'onda che assume l'aereo per ogni numero di spire del secondario del jigger e dell' induttanza. In tal caso si dispongono il secondario e l' induttanza sui valori stabiliti e, dopo preparato a mezzo dell'ondametro il primario sulla stessa onda, non rimarrà che perfezionare l'accordo con piccole variazioni nell' induttanza primaria variabile, facendo attenzione all' incandescenza della lampadina.

Quando non esistano tabelle, e si abbia a disposizione un piccolo rocchetto d' induzione, si può procedere per l'accordo dei circuiti nel seguente modo: Si prepara sul primario l'onda stabilita, servendosi dell'ondametro e dell' induttanza variabile, e facendo funzionare la trasmissione come si è già detto. Dopo di ciò si ricollegano aereo e terra al secondario del jigger (erano stati staccati per l'operazione precedente), si dà il minimo accoppiamento permesso dagli apparecchi fra il primario ed il secondario del jigger, si attribuiscono all' induttanza variabile d'aereo e al secondario due valori che si ritengono buoni, dato l'aereo e l'onda che si vuol stabilire; e poi si eccita direttamente l'aereo, servendosi del rocchetto, e ricavando sull'aereo un piccolo intervallo che possa funzionare da spinterometro; si misura con l'ondametro la lunghezza dell'onda irradiata dall'aereo. Opportune variazioni sull' induttanza e sul secondario, permetteranno di giungere alla lunghezza voluta, che dev'essere uguale a quella dell'onda sul primario. A questo punto, staccata dall'aereo l'eccitazione diretta, aumentato l'accoppiamento, si fa funzionare tutto il trasmettitore, verificando se piccole variazioni sull'induttanza primaria producono variazioni nell'incandescenza della lampadina.

Se il trasmettitore è provvisto di un variometro o di un condensatore variabile, sul primario o sull'aereo o su tutt'e due, le operazioni si semplificano,

perchè si potranno preparare delle tabelle, nelle quali sia indicata per ogni posizione del variometro o del condensatore l'onda del generatore o dell'aereo.

Riesce così semplicissimo disporre il circuito primario per la lunghezza d'onda voluta. A questo punto si farà funzionare la trasmissione e, movendo il variometro d'aereo, si ricercherà la posizione per cui l'incandescenza della lampadina è la massima, fissando poi il variometro in tale posizione.

Se il trasmettitore è a scintilla, con eccitazione ad impulso, il metodo migliore consiste nel preparare separatamente la stessa onda sui due circuiti, e quindi nel determinare il valore migliore dell'accoppiamento mediante variazioni graduali del medesimo, accompagnate dall'osservazione della corrente d'aereo, nonchè dalla verifica, mediante l'ondametro, che una sola onda è generata. Il migliore valore dell'accoppiamento deve inoltre dare la scintilla più limpida e musicale.

Se invece della lampadina di sintonia si ha l'ampermetro d'aereo, gli accordi descritti si fanno anche meglio, osservando le indicazioni relative alla corrente; l'accordo è raggiunto quando la corrente indicata dallo strumento d'aereo è massima. Dopo l'accordo, durante il servizio, è bene che l'ampermetro sia messo in corto circuito, per evitare che si bruci.

CAPITOLO XIII.

Trasmettitori completi a scintilla ed a valvola.

214. - SCHEMA DI TRASMETTITORE A SCINTILLA. — Considerati così tutti i varî elementi ed esaminate le particolarità del loro impiego, si può tracciare uno schema generico di un trasmettitore a scintilla, del tipo con alimentazione a corrente alternata, spinterometro rotante, eccitazione indiretta, scintilla musicale.

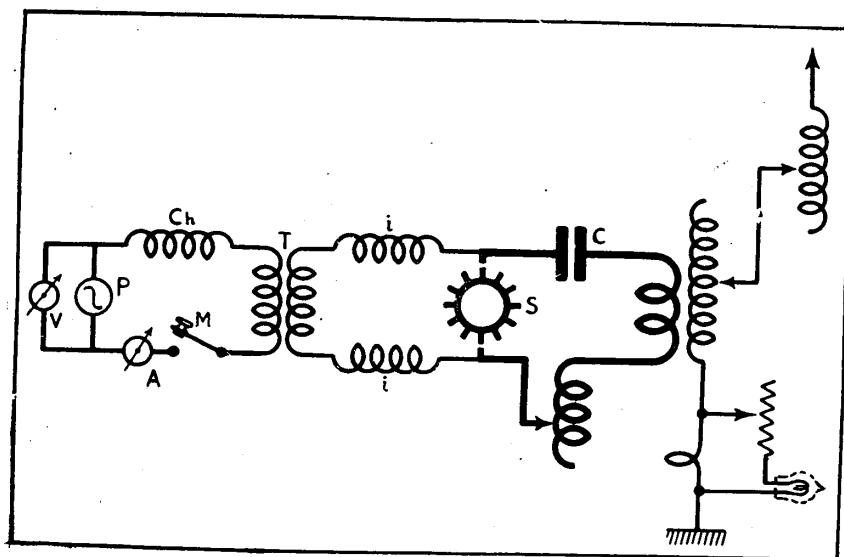



Fig. 223.

La fig. 223 rappresenta tale schema: in essa è segnato anche il choker, di cui si può far a meno quando si tenga presente ciò che è stato detto al nr. 192. Sono inoltre segnati in *i* due avvolgimenti a spire numerose di filo sottile isolato *(impedenze di protezione)*, che hanno per iscopo di impedire il ritorno di oscillazioni dal circuito oscillante chiuso al secondario del trasformatore, di dove, attraverso il primario, potrebbero ripercuotersi sull'alternatore, causando inconvenienti

nell' isolamento e nell' eccitazione. Il tasto è disposto sul circuito di alimentazione, nel primario.

Nello schema possono distinguersi tre circuiti: *di alimentazione,* che comprende l' indotto dell' alternatore, il primario del trasformatore, ed il secondario del trasformatore, fino al condensatore e che nel suo insieme, come detto al nr. 192, costituisce un circuito unico. Gli altri due circuiti sono quello *oscillante chiuso* e quello *oscillante aperto o di aereo.*

215. - FUNZIONAMENTO DI UN TRASMETTITORE R. T. A SCINTILLA. — Nel caso della fig. 223, supposto che l'alternatore che alimenta il trasmettitore abbia frequenza 300, e che si abbia una scarica per ogni alternanza, si avrà una scintilla musicale di nota 600. Supposto inoltre che, dati i valori di C ed L del circuito primario, l' onda sia di 1000 metri, la frequenza della corrente oscillante sarà 300,000 e cioè ogni ciclo completo (ogni onda) ha la durata di $^1/_{300000}$ di secondo ($^1/_3 \times 10^{-5}$ o 3,3 microsecondi). Se lo smorzamento è tale che ogni treno d'onda comprende 100 onde, allora la durata di un treno è $100 \times {}^1/_{300000} = {}^1/_{3000}$ di secondo ($^1/_3 \times 10^{-3}$ o 3,3 millisecondi). Ora tra un inizio e l'altro di treno d'onda, data la frequenza delle scintille, passa un intervallo di $^1/_{600}$ di secondo, pari a $^5/_{3000}$ di secondo. Perciò dell' intervallo fra gli inizi di due treni consecutivi, $^1/_{3000}$ di secondo è occupato da un treno e $^4/_{3000}$ sono liberi, essendo il circuito oscillante a riposo.

Si supponga di dover trasmettere la lettera *a* (un punto ed una linea). Il punto ha una certa durata, ad es.: $^1/_{15}$ di secondo; la linea dura tre volte tanto, cioè $^3/_{15} = {}^1/_5$ di secondo; fra punto e linea ci deve essere distacco di durata un punto ($^1/_{15}$ di secondo); fra la lettera *a* e la lettera che segue (nel caso che la lettera *a* faccia parte di una parola), l' intervallo dura quanto una linea e cioè $^1/_5$ di secondo. Il tasto dovrà chiudere o lasciare aperto il circuito dell' alternatore per i tempi indicati, e cioè: chiuso per $^1/_{15}$, aperto per $^1/_{15}$, chiuso per $^3/_{15}$, aperto. Nella prima chiusura — corrispondente al punto — l'alimentazione del condensatore comprenderà tante alternanze della corrente quante ne sono contenute nel tempo per cui dura il punto, e cioè con $600 \times {}^1/_{15} = {}^{600}/_{15} = 40$. Perciò si avranno 40 cariche del condensatore, 40 scariche allo spinterometro, 40 treni di c. o. sull'aereo, 40 treni d'onda nell'etere; il punto è portato quindi attraverso lo spazio da 40 treni d'onda, ciascuno dei quali comprende 100 oscillazioni di periodo 3,3 microsecondi, e tutto questo avviene in $^1/_{15}$ di secondo.

Dopo tale perturbazione, tutto il trasmettitore rimane a riposo per $^1/_{15}$ di secondo, mentre il complesso dei treni d'onda che formano il punto viaggia nello spazio con la velocità di 300,000 km. al secondo.

Alla fine di questo tempo si inizia la linea; il primario del trasformatore viene alimentato da $600 \times {}^1/_5 = {}^{600}/_5 = 120$ alternanze della corrente; quindi il condensatore si carica 120 volte; si hanno 120 scariche allo spinterometro; 120 treni di c. o. nell'aereo; 120 treni d'onda nell'etere; la linea viene portata attraverso lo spazio da 120 treni d'onda, e tutto ciò avviene in $^1/_5$ di secondo.

216. - Descrizione di alcuni tipi di generatori ad onde smorzate - Trasmettitore 40 watt Marconi. — È un trasmettitore ad eccitazione indiretta, scintilla quasi musicale, potenza 40 watt; potenziale al primario 12 volta; alimentazione con accumulatori. Risponde allo schema generico di un trasmettitore a rocchetto di Ruhmkorff con le seguenti particolarità (figg. 224 e 225).

1. *Martelletto.* — È costituito da una lamina vibrante fissata ad un estremo, vincolata all'altro fra due dischetti di gomma tenuti da una vite; verso il centro porta un bottoncino di platino. La laminetta è sottoposta all'attrazione del nu-

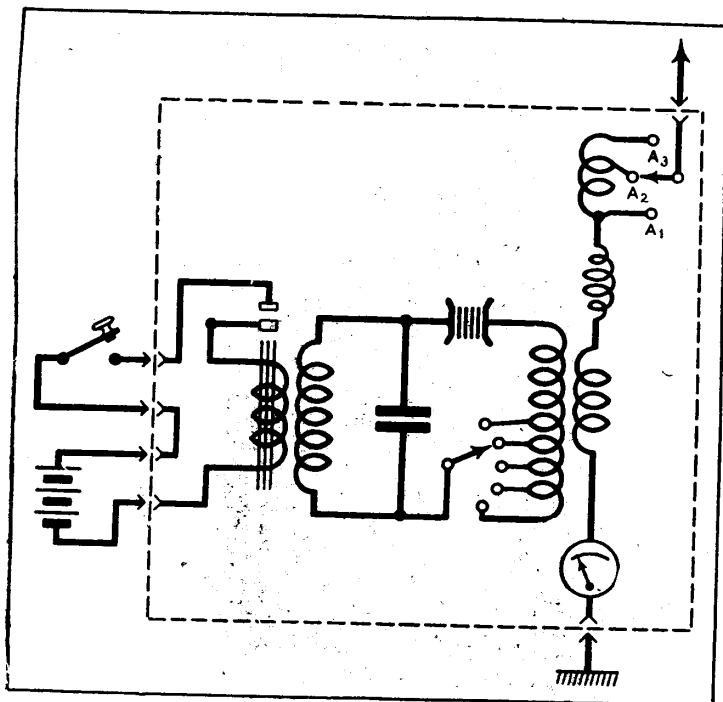



Fig. 224.

cleo di ferro del rocchetto; la sua vibrazione però non è completamente libera, per la presenza del vincolo dei due dischi di gomma d'estremità; con ciò si viene a diminuire l'ampiezza della vibrazione, e ad aumentarne quindi la frequenza.

In corrispondenza al bottone di platino si ha un altro contatto di platino, portato all'estremità di una vite a grossa testa piana zigrinata. Questa vite si avvita nell'apposita chiocciola contenuta in un ponticello metallico; e la sua posizione può fissarsi con una rosetta controdado. L'interruzione del circuito della corrente avviene fra i due contatti di platino; la corrente si interrompe quindi periodicamente tante volte quante sono le vibrazioni della laminetta.

Affinchè il funzionamento del martelletto sia regolare e possa mantenersi per un certo tempo in tali condizioni, occorre che la sua regolazione sia molto accurata.

2. *Spinterometro.* — È del tipo a dischi, costituito da una colonnetta di sei dischi di rame, separati da rondelle di mica dello spessore di $^{15}/_{100}$ di $^{m}/_{m}$.

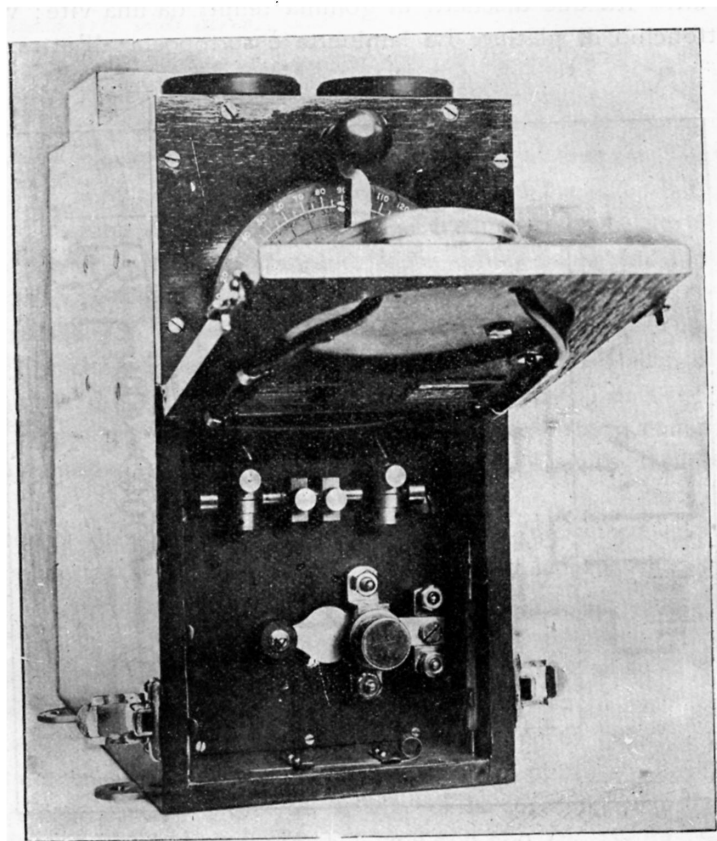



Fig. 225.

A mezzo di presa variabile si possono escludere tre dei dischi, riducendo così l'energia del primario.

3. *Circuito oscillante primario.* — Ha il primario del jigger diviso in varie sezioni. A mezzo di un commutatore di onda si possono inserire in modo diverso le varie sezioni, con che si predispongono sul primario varie onde fisse (da 150 a 350 m., variando di 50 in 50 m.)

4. *Circuito oscillante d'aereo.* — È provvisto di un variometro e di un' induttuttanza variabile per l' accordo.

L' accordo dei circuiti viene così eseguito :

stabilita sul primario la lunghezza d'onda che si vuole impiegare nella trasmissione, si manovra il variometro d'aereo fino ad ottenere l'accordo. Si fisserà l'attacco dell'aereo e la posizione del variometro, quando si leggerà il valore massimo di corrente all'ampermetro d'aereo.

217. - COMPLESSO KW. 1,5 MARCONI A SCINTILLA MUSICALE A DISCO. — Il complesso è alimentato da un alternatore di 2 Kw. L'aereo è costituito da due fili lunghi 130 m., oltre 20 metri di coda (fig. 226), sostenuto, coll'intermedio di pennole e briglie isolanti, da due alberi alti m. 21,60, del tipo ad elementi di legno o metallici (fig. 146). La terra è ottenuta con 4 reti di rame o di bronzo fosforoso, che vengono posate sul suolo, od interrate a piccola profondità. Le varie parti dei circuiti trasmittenti e riceventi sono contenute in corpi di cassette

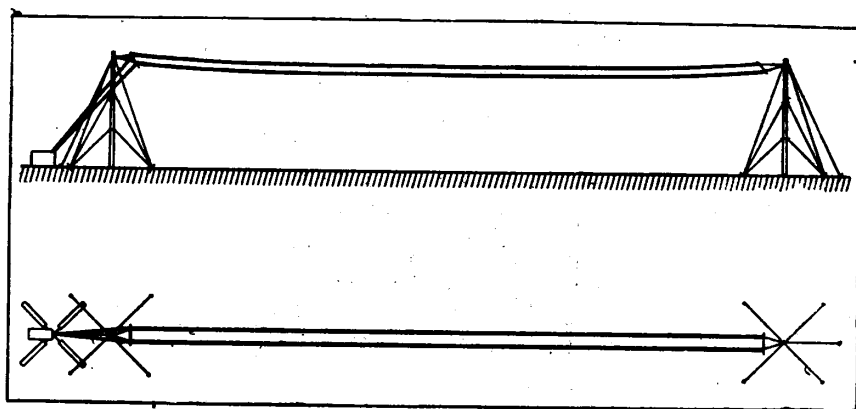



Fig. 226.

(per traino animale) o in una carrozzeria di automobile. Nel primo caso, un motore a scoppio apposito provvede il movimento all'alternatore; nel secondo caso serve in genere lo stesso motore della vettura.

Gli elementi componenti la parte trasmittente sono i seguenti (figg. 227-228): alternatore; quadri di distribuzione; trasformatore; batteria di condensatori; spinterometro; jigger; induttanza variabile del secondario; amperometro d'aereo.

Oltre al ricevitore sono provvisti anche un ondametro a cicala ed un rocchetto d'induzione (*).

L'*alternatore* (1) è monofase, con dinamo d'eccitazione; ha 18 poli e fornisce corrente alternata a 180 periodi, 200 volta, 12,5 ampere e corrente continua a 25 volta, 7 ampere. Quest'ultima serve per l'eccitazione e per caricare gli accumulatori impiegati per la ricezione o per l'illuminazione. L'alternatore può es-

(*) I numeri indicati per ognuno degli elementi della stazione corrispondono a quelli delle figg. 227-228.

sere messo in moto da un motore qualsiasi (elettrico od a scoppio), con trasmissione diretta oppure a cinghia.

I *quadri di distribuzione* sono uno per la c. a. ed uno per la c. c.

Il primo (2) comprende due lampadine di protezione, due valvole fusibili ed un interruttore bipolare. Il secondo (3) ha un interruttore principale, un interruttore automatico, un voltmetro, un amperometro, una valvola fusibile, due lampadine di protezione. Tale quadro permette la carica degli accumulatori.

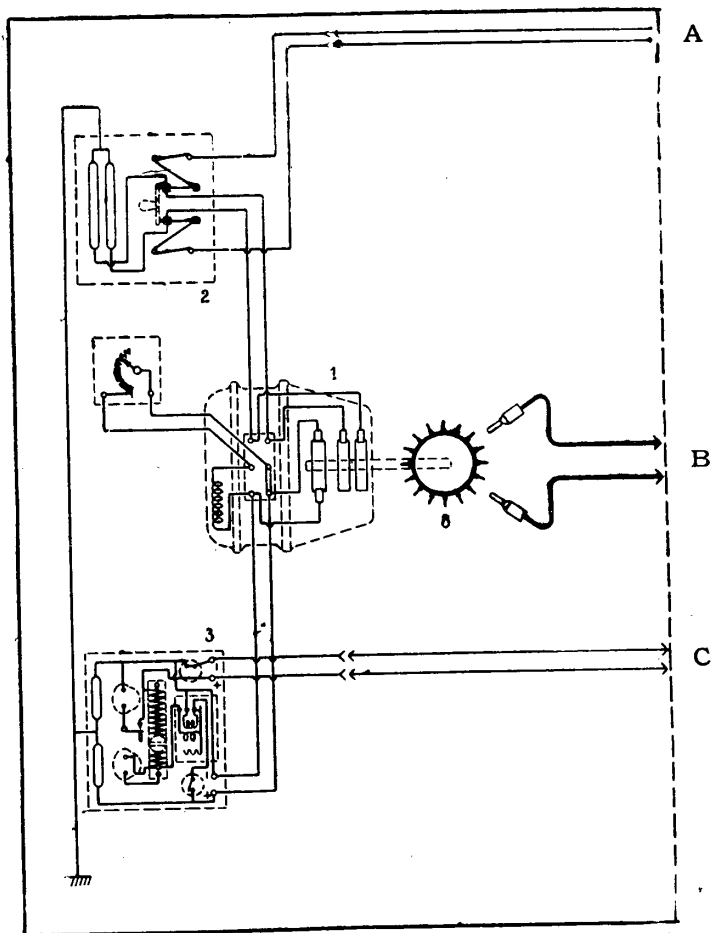



Fig. 227.

Il *trasformatore* (3) è del tipo a nucleo di ferro chiuso, ed ha alle uscite del secondario due *impedenze* (5) di protezione, montate sullo stesso telaio del trasformatore. Fra le due impedenze è disposto uno *spinterometro fisso* (6) regolabile, per la protezione della batteria dei condensatori. Se il disco è mal regolato, la scarica avviene attraverso tale spinterometro.

La *batteria di condensatori* (7) è formata con 22 condensatori tubolari, in parallelo, con una piastra superiore di raccolta delle armature interne, ed una inferiore per le armature esterne.

Lo *spinterometro* (8) è a disco, contenuto in una campana di alluminio, la quale porta i due elettrodi fissi (vedi anche fig. 207). Il disco è calettato sopra

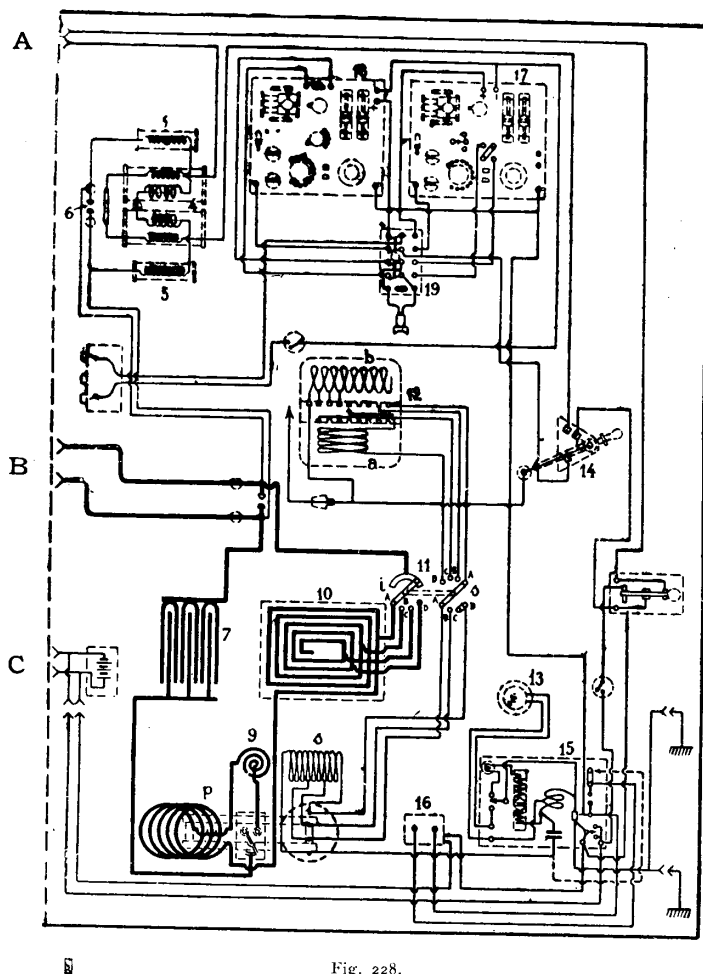



Fig. 228.

l'albero dell'alternatore, fa lo stesso numero di giri di questo, ed ha 18 punte, cioè tante quanti sono i poli del generatore. La posizione degli elettrodi fissi viene regolata movendo tutta la campana di alluminio a mezzo di un' impugnatura isolante. Un indice su un arco graduato dà la posizione degli elettrodi fissi rispetto al disco. La posizione esatta si ha quando le punte mobili si affacciano a quelle fisse nel momento in cui è massima la tensione della c. a. al secondario del trasformatore. Un piccolo ventilatore mantiene ventilato l' interno della cam-

pana, la quale può esser chiusa con un coperchio trattenuto con dadi a farfalla, ed elimina i gas prodotti dalla scarica.

Il *jigger* (9) comprende il primario costituito da poche spire di grosso cavo ed il secondario, il quale può muoversi rispetto al primario per la variazione di accoppiamento ed è munito di quattro prese, per inserire nel circuito un numero diverso di spire, nonchè dell'attacco per la terra.

L' *induttanza variabile del primario* (10) è formata da una spirale piatta rettangolare di bandella di rame, con quattro prese a pinzetta per l' inserzione di valori diversi di induttanza.

Il *commutatore d'onda* (11) permette di poter stabilire nei circuiti d'aereo e primario quattro lunghezze d'onda distinte, e di passare rapidamente dall'una all'altra durante la trasmissione. Comprende un ponte superiore ed uno inferiore. Quello superiore è inserito nel circuito d'aereo; quello inferiore nel circuito primario. I due ponti sono riuniti da uno stelo d'ebanite con impugnatura, e si comandano contemporaneamente. Il ponte inferiore può far contatto con un estremo su uno qualunque dei quattro bottoni segnati A B C D, ai quali fanno capo i cavetti delle quattro pinze dell' induttanza variabile; con l'altro estremo è sempre in contatto su un arco metallico collegato con il primario del jigger. Il ponte superiore fa contatto con le due estremità su bottoni diametralmente opposti, in modo da collegarli a due a due; ad una serie di bottoni fanno capo i cavetti provenienti dalle quattro prese del secondario del jigger; dall'altra serie partono i collegamenti con l' induttanza variabile d'aereo.

L' *induttanza variabile d'aereo* (12) è divisa in due parti: una inseribile di spira in spira; l'altra che si include per intero, insieme con le spire della precedente, per poter ottenere onde di grande lunghezza.

L'*amperometro d'aereo* (13) è derivato su una spira in serie sull'aereo, fra il secondario del jigger e l'attacco di terra.

Per passare dalla trasmissione alla ricezione è disposto un *commutatore d'aereo* (14), il quale, nella posizione di ricezione, lascia interrotto il circuito del primario del trasformatore, mentre deriva sull'aereo l'apparecchio ricevente. Dato che per la ricezione non si stacca l'aereo dagli apparecchi trasmittenti, è disposto, prima della presa di terra, uno *scintillatore d'aereo* (15). Quest'ultimo è costituito da un' interruzione di alcuni decimi di $^{m}/_{m}$, che durante la trasmissione è superata da una serie di scintille (da cui il nome) in modo che il circuito d'aereo è collegato alla terra, mentre nella ricezione funziona da interruzione e il circuito d' aereo si completa attraverso il ricevitore. Lo scintillatore serve anche da spinterometro per l' eccitazione in pienaereo, quando si debba eseguire la misura dell'onda propria del circuito irradiante. A tale scopo la stazione è provvista di un *rocchetto d' induzione* (16), da alimentarsi con una batteria di accumulatori. Il rocchetto può impiegarsi anche per trasmettere a piccole distanze (5 ÷ 10 Km.), senza mettere in funzione tutta la stazione.

I nr. 17 e 18 corrispondono ai ricevitori, che si possono commutare a mezzo del commutatore 19. Per ricevitori di tale tipo vedi più avanti nr. 262.

218. - SCHEMA DI UN TRASMETTITORE A VALVOLA A ECCITAZIONE DIRETTA DELL'AEREO. — Un trasmettitore r. t. di piccola potenza ad onde persistenti a valvola con eccitazione diretta dell'aereo comprende invece i seguenti circuiti (fig. 229);

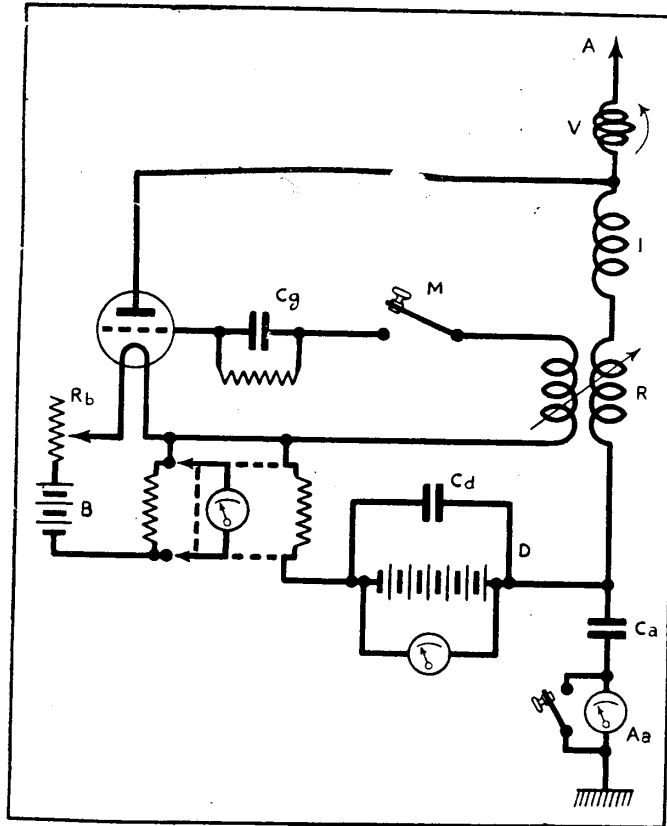



Fig. 229.

I) di accensione
- filamento
- batteria di accensione B
- reostato di accensione R_b

II) di griglia
- griglia
- tasto M
- condensatore di griglia C_g e resistenza di dispersione
- bobina di reazione R
- filamento di valvola

III) di placca
- placca
- induttanza variabile I
- bobina di reazione R
- generatore D e capacità in derivazione C_d
- filamento di valvola

IV) d'aereo
- aereo A
- variometro V
- induttanza I
- bobina di reazione R
- condensatore d'aereo C_a
- amperometro d'aereo A_a
- terra T.

Il secondo ed il terzo circuito hanno un elemento comune: l' intervallo filamento-griglia; e sono inoltre collegati fra di loro induttivamente con l'accoppiamento della bobina di reazione (R).

Il quarto circuito è in derivazione sul terzo, avendo comune con esso la induttanza e la bobina di reazione (I-R).

Nel quarto circuito è considerato il condensatore C_a sull'aereo. Esso ha per compito di isolare da terra il positivo del generatore D del circuito anodico, quando tale generatore sia, come appunto nello schema della fig. 229, disposto fra la valvola e la terra; e non è necessario se invece il generatore è fra l'aereo e la placca, e quindi con il negativo sull'aereo e sulla terra.

219. - Schema di un trasmettitore a valvola a eccitazione indiretta. — Nel caso di trasmettitore ad eccitazione indiretta, detto anche a circuito intermedio, le varianti, rispetto allo schema illustrato al numero precedente, si hanno nel terzo e nel quarto circuito (vedi anche fig. 212):

III) di placca
- placca
- capacità del circuito oscillante
- bobina di reazione (talvolta è riunita al primario del jigger)
- induttanza del circuito oscillante (funziona anche da primario del jigger)
- sorgente di f. e. m.
- filamento di valvola

IV) di aereo
- aereo
- variometro
- induttanza variabile
- secondario di jigger
- amperometro d'aereo
- terra.

220. - INSERZIONE DEL TASTO. — Per comandare l'emissione nel trasmettitore a valvola, si ricorre ad un tasto manipolatore, il quale può chiudere ad es. il circuito di griglia, oppure quello di placca, o può anche, ma più raramente, modificare l'incandescenza del filamento.

Un dispositivo abbastanza comune è quello che agisce sul circuito di griglia (fig. 230). Talvolta le cose sono così disposte che, abbassando il tasto (fig. 231), si viene a connettere la griglia al polo positivo di una batteria di pile a secco (batteria di griglia); mentre alzandolo, la griglia viene connessa al polo negativo. A tasto alzato, la griglia si trova ad un potenziale negativo prossimo a quello di interdizione, mentre a tasto abbassato si trova ad un potenziale positivo corrispondente circa alla metà del tratto ripido della caratteristica. I due potenziali sono dunque regolati in modo che a tasto abbassato la valvola si trovi nelle migliori condizioni di oscillazione, mentre nessuna oscillazione può innescarsi a tasto alzato.

Fig. 230.

Nel caso di potenze maggiori, il tasto comanda i circuiti della valvola non direttamente, ma a mezzo di un interruttore elettromagnetico, analogo a quello usato in stazioni a scintilla di una certa potenza. La fig. 232 rappresenta un tipo semplice di interruttore di tale specie, costituito da due avvolgimenti percorsi da corrente continua comandata dal tasto, e che agiscono per succhiamento su due nuclei di ferro dolce. Questi sono fissati alle estremità di due steli isolanti, i quali comandano un braccio conduttore, a bilanciere. I contatti col circuito sono due, disposti uno sulla faccia superiore e l'altro sulla faccia inferiore del bilanciere. Quando si abbassa il tasto, si fa funzionare l'elettromagnete, il quale chiude il circuito a mezzo del bilanciere.

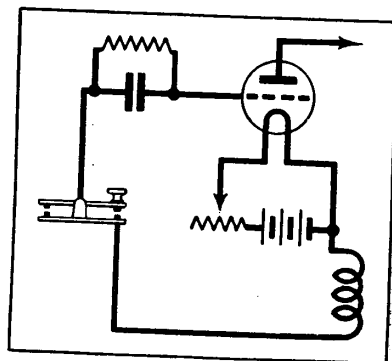
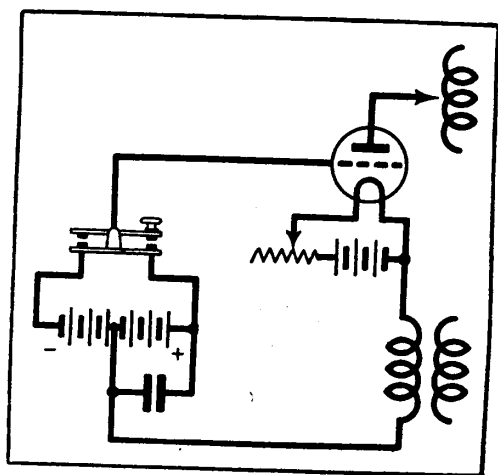



Fig. 231.

221. - INSERZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA. — Poichè l'adescamento della valvola ad ogni chiusura del tasto, ed il funzionamento di tutto il sistema dipendono molto dall'incandescenza del filamento e dalla tensione di placca, così si hanno in generale un amperometro nel circuito del filamento, per la misura

dell' intensità della corrente d'accensione, ed un voltmetro in derivazione sulla dinamo o sulla batteria ad alta tensione. Si può poi profittare dell'amperometro del circuito di accensione utilizzandolo come milliamperometro per misurare la intensità della corrente nel circuito di placca; l'amperometro sarà perciò munito di shunt e di commutatore, per l' inserzione in uno dei due modi (fig. 229). Si ha poi sull'aereo un amperometro a filo caldo o a termocoppia per la verifica dell'accordo.

222. - Riscaldamento eccessivo delle valvole. — Quando si impieghi in una valvola un potenziale di placca troppo elevato, senza contemporaneamente rendere fortemente negativa la griglia, la corrente di placca può raggiungere valori notevoli, cosicchè la potenza perduta nella valvola può diventare pure essa notevole, essendo dovuta sia alla tensione presente sulla placca, che alla corrente che l'attraversa. La forte tensione complessiva di placca e di griglia aumenta la velocità degli elettroni, e poichè questi sono pure in gran numero, si determina un notevole bombardamento della placca, capace di produrne il riscaldamento, anche ad elevata temperatura (rosso ciliegia o rosso splendente). Questo riscaldamento eccessivo è dunque indizio di sregolazione negli elementi del circuito, e merita qualche spiegazione, in aggiunta a quelle già date al nr. 181 sul rendimento delle valvole.

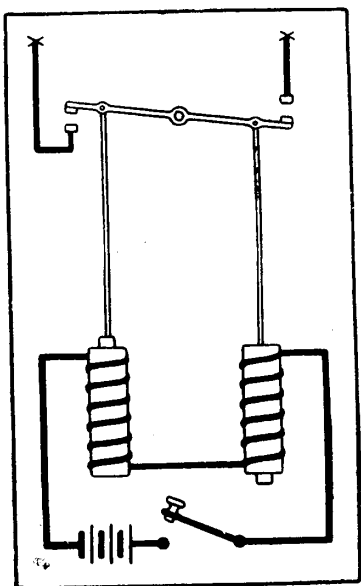



Fig. 232.

Della energia fornita dalla batteria, una parte si consuma nella valvola, ed una parte nel circuito oscillante. È precisamente quella che si consuma nella valvola che dà luogo al riscaldamento della placca. Bisogna dunque cercare di far arrivare la massima parte della energia nel circuito oscillante, sottraendola alla valvola stessa.

Ciò si può ottenere sia agendo sulla regolazione dei potenziali E_p ed E_g, cioè sugli elementi del circuito da cui essi dipendono, in modo da ottenere la massima corrente oscillante compatibile con la potenza fornita alla valvola, sia limitando la corrente di placca per mezzo del condensatore shuntato di griglia esaminato al nr. 182. La regolazione della resistenza di dispersione è in genere efficace rimedio ad un riscaldamento eccessivo della placca, e quando questo si verifica è buona regola esaminare se tale resistenza non si è ridotta di valore o addirittura cortocircuitata, oppure se sia cortocircuitato il condensatore di griglia.

Conseguenza dannosa dell'eccessivo riscaldamento della placca è il rammollimento della valvola, e cioè la riduzione del grado di vuoto nel bulbo, a causa delle bollicine di gas più interne nel metallo dell'anodo che, per un riscaldamento

prolungato ed elevato, si liberano. Dalla presenza di atomi di gas nel bulbo derivano i fenomeni già accennati di corrente ionica, di una più intensa corrente di griglia, e di una corrente lentamente crescente nel circuito di placca. La maggiore intensità delle due correnti aiuta un ulteriore riscaldamento, e quindi una progressiva liberazione dei gas occlusi. La modificazione che la caratteristica della valvola subisce in conseguenza di quanto sopra può essere tale da rendere impossibile la generazione. Se poi il riscaldamento fosse eccessivo, ne può derivare la fusione della placca o della griglia (1).

Nei più moderni trasmettitori tuttavia la placca può anche arrossarsi impunemente, se il metallo di cui è costituita la placca lo consente, e se le caratteristiche fisiche o geometriche della valvola sono tali da disperdere facilmente il calore eccessivo che così si libera.

223. - Regolazione di un trasmettitore a valvola. — Tenendo presente quanto si è detto al precedente paragrafo, nonchè gli elementi costitutivi del trasmettitore r. t. di cui i numeri 218 e 219, si deduce che le regolazioni dei circuiti tendono ad ottenere: 1° che il generatore oscilli esattamente e costantemente con la lunghezza d'onda desiderata; 2° che il rendimento del trasmettitore sia massimo e cioè: che l'intensità di corrente sull'aereo sia grande; che le intensità della corrente anodica e di quella di accensione siano piccole. In definitiva quindi le regolazioni sono le seguenti:

a) regolazione della lunghezza d'onda, che si ottiene agendo sulla capacità o sull'induttanza del circuito intermedio, nonchè sull'induttanza variabile I, o sul variometro V, o modificando l'aereo:

b) regolazione dell'accoppiamento fra circuito generatore e circuito d'aereo, che si ottiene modificando l'accoppiamento fra primario e secondario del jigger, fino ad avere una corrente perfettamente stabile, e di intensità proporzionale alla potenza della stazione;

c) regolazione della tensione alternata E_p di placca, che si ottiene variando il valore dell'induttanza inserita nel circuito della placca;

d) regolazione della tensione alternata di griglia E_g, che si ottiene modificando la reazione e cioè, nel caso della fig. 229, variando l'accoppiamento M. (fig. 233).

e) regolazione del rendimento della valvola, che si ottiene modificando il condensatore di griglia e la resistenza di dispersione, come si disse al nr. 222.

224. - Generazione del potenziale di placca. — Nel caso di piccoli trasmettitori, per i quali non occorre nè una tensione eccessiva, nè una corrente troppo intensa, possono essere sufficienti delle batterie di pile a secco come sor-

---

(1) Quando si produce il rammollimento, la valvola dà origine alla nuvoletta azzurra di cui si è parlato al nr. 136; le oscillazioni cessano bruscamente ed aumenta la corrente nel circuito anodico, corrente che viene tutta assorbita dalla valvola.

gente di energia per il circuito anodico. Se però la valvola supera una certa potenza, una batteria di pile riuscirebbe eccessiva di peso e di volume. Sono più adatte allora delle macchine elettriche, dinamo ad alta tensione ed a debole intensità, come richiede il circuito su cui devono essere inserite. La costruzione di tali dinamo non è molto facile: speciali precauzioni occorrono per il collettore; tuttavia si costruiscono oggidì dinamo ad alta tensione, che possono fornire direttamente tensioni a 6.000 e 10.000 volta.

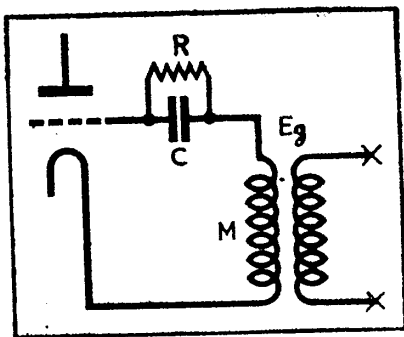
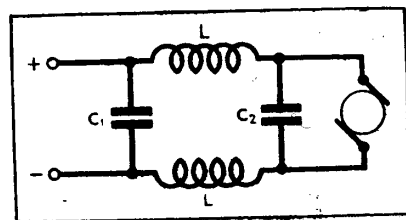



Fig. 233.

La corrente delle dinamo non è però mai perfettamente costante, e presenta sempre un frastagliamento, per ridurre il quale si rende quasi sempre necessario disporre alcuni elementi funzionanti da spianatori. Senza di essi la valvola darebbe una corrente non costante di ampiezza, con conseguenti disturbi alla ricezione. Tali elementi spianatori sono generalmente costituiti da uno o due condensarori a capacità piuttosto elevata, collegati ai morsetti della dinamo attraverso due induttanze pure abbastanza elevate ed a nucleo di ferro (fig. 234), in modo da costituire un cosidetto *filtro*. I condensatori si caricano durante il massimo della tensione, e si scaricano sul circuito esterno durante i minimi. In tal modo le variazioni di tensione vengono molto ridotte, e la corrente generata è più regolare. Quando gli estremi del filtro sono collegati ai circuiti ad alta frequenza, il condensatore esterno C_1 serve di passaggio agli impulsi ad a. f. (1).

Fig. 234.

La dinamo può essere mossa da un motore qualsiasi: molto spesso torna conveniente e comodo accoppiarla ad un motore a corrente continua, alimentato da una batteria di accumulatori: si ottiene così un gruppo convertitore, od anche, se la macchina è una sola, una convertitrice, che trasforma corrente continua a bassa tensione e ad intensità notevole, in c. c. ad alta tensione ed a piccola intensità (nr. 74).

Per le potenze superiori, quando occorre alimentare con tensioni superiori a 10 ÷ 15 chilowatt, le dinamo ad alta tensione non sono generalmente più usate; e si ricorre allora ad un alternatore a frequenza piuttosto alta, il quale genera corrente a bassa tensione, che viene poi sopraelevata con un trasformatore e raddrizzata, prima di inviarla nel circuito di placca. Il raddrizzamento si fa

(1) Analogo condensatore si dispone in parallelo sulla batteria di pile a secco, quando si adopri una simile batteria sul circuito di placca (vedi fig. 229).

con una valvola a due elettrodi (nr. 143), la quale elimina la semioscillazione negativa. Per spianare la tensione si ricorrerà ad un filtro analogo a quello impiegato all'uscita delle dinamo ad alta tensione, ma generalmente di dimensioni

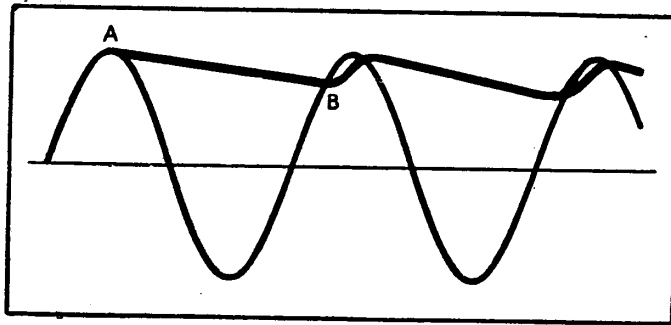



Fig. 235.

maggiori, essendo più ampie le oscillazioni della tensione. Il valore della capacità occorrente sarà tanto minore quanto più alta è la frequenza della corrente alternata di alimentazione. Detto valore dipende inoltre dalla tensione applicata, e dall' intensità di corrente da fornire.

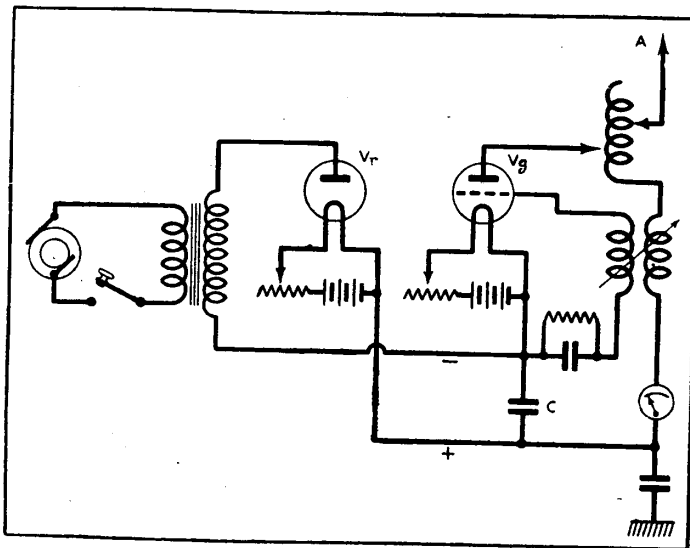



Fig. 236.

La fig. 235 rappresenta l' andamento della tensione di placca in un trasmettitore alimentato in tal modo; la fig. 236 è lo schema di un trasmettitore a corrente raddrizzata, con un solo diodo V_r essendo V_g la valvola generatrice, e C il condensatore di spianamento. Si potrà anche impiegare un dispositivo di rad-

drizzamento a due valvole, come quello indicato nelle figure 157, 158 e 159 al paragrafo 143. I circuiti filtro da impiegare sono analoghi a quelli delle figure 160 e 234.

225. - CORRENTE DI ACCENSIONE. — Nei piccoli trasmettitori basta per l'accensione una batteria di accumulatori da 4, 6 oppure 8 volta, di capacità adeguata alla corrente assorbita dal filamento. Tale batteria è bene sia indipendente da quella che eventualmente alimenta la dinamo convertitrice, ad evitare troppo ampie variazioni di tensione, con conseguente pericolo di fulminazione.

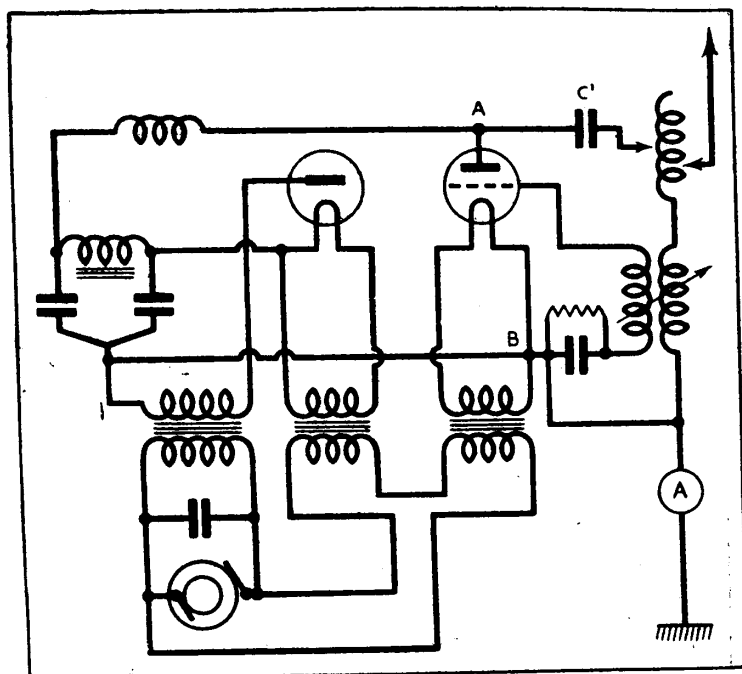



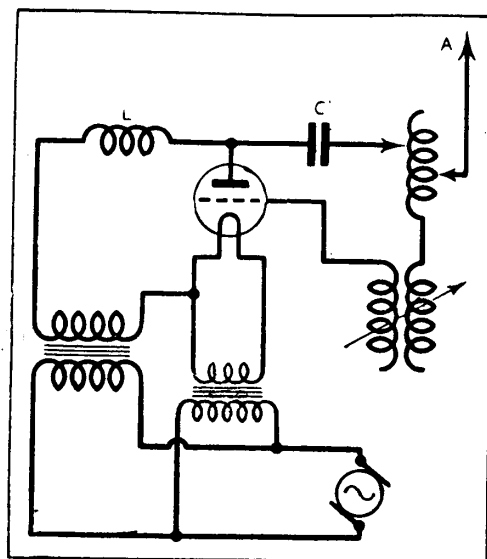
Fig. 237.

Nei trasmettitori di maggior potenza, alimentati con alternatori, la valvola trasmittente richiede una corrente intensa, talvolta a potenziale elevato; non solo, ma è necessario pure fornire la corrente di accensione alla valvola rettificatrice. In questo caso la batteria di accumulatori non è conveniente, e ad ogni modo dovrebbero impiegarsene due, separatamente per le due valvole, come è indicato nella fig. 236. Torna più pratico profittare della stessa corrente alternata di alimentazione, derivandovi il primario di un trasformatore riduttore a due secondari, uno per la valvola generatrice, l' altro per quella raddrizzatrice, oppure ricorrendo a diversi trasformatori. Lo schema della disposizione è rappresentato nella figura 237.

226. - ALIMENTAZIONE ANODICA IN SERIE E IN PARALLELO. — Fino ad ora, ad esclusione degli schemi delle figure 236 e 237, in tutti i circuiti di trasmissione rappresentati, la sorgente anodica di f. e. m. si era disposta in serie sul circuito di placca, essendo shuntata, se ciò è necessario, da un condensatore di piccola capacità, per il passaggio degli impulsi ad alta frequenza di alimentazione del circuito oscillante.

Nella figura 237 invece la sorgente è in derivazione sul circuito anodico, essendo collegata a questo nei punti A e B. Dei due rami partenti da A, quello connesso ai circuiti oscillanti ha un condensatore C' che intercetta la tensione continua di alimentazione e permette il passaggio degli impulsi ad a. f.; l'altro ha una induttanza che compie funzioni opposte. Nella figura 238 la disposizione è disegnata in forma più semplice, per maggior chiarezza. Il condensatore di blocco C' isola da terra il positivo della sorgente di f. e. m., mentre permette il passaggio degli impulsi ad alta frequenza di alimentazione del circuito oscillante: L è l' induttanza anodica.

Fig. 238.

S' impiega il collegamento in derivazione nei trasmettitori di maggior potenza, normalmente quando si ha l'alimentazione ad alternatore con dispositivo di rettificazione.

227. - TRASMISSIONE AD ONDE MODULATE. — Come si è già avuto occasione di rilevare, le trasmissioni r. t. ad onde persistenti non sono ricevute dagli ordinari ricevitori per onde smorzate. Si può però adattare un trasmettitore a valvola, in modo da avere una trasmissione detta ad onde modulate, la quale può esser ricevuta come le onde smorzate. La disposizione è indicata alla fig. 239. Sul circuito di griglia è inserito il secondario di un piccolo trasformatore a nucleo di ferro (trasformatore microfonico od a bassa frequenza), il cui primario fa parte di un altro circuito, comprendente una batteria locale ed una cicalina con tasto. In tal modo sulla griglia della valvola, oltre agli impulsi di tensione creati dall'accoppiamento di reazione con la placca, si hanno gli impulsi di tensione dovuti alle vibrazioni della cicala, i quali si succedono ad una frequenza udibile. Tali impulsi hanno per effetto di far variare entro ampi limiti la tensione di griglia. Una volta per ogni periodo della cicala la tensione di griglia diventa così molto più negativa, e ciò ha per effetto d' interrompere (o di ridurre notevolmente) con la frequenza udibile degli impulsi della cicala la

produzione delle oscillazioni, cosicchè le onde che si irradiano sono di ampiezza non uniforme, ma variabile e precisamente hanno massima ampiezza nelle alternazioni positive della griglia, e minima o nulla nelle negative. Le oscillazioni prodotte sono cioè modulate con la frequenza delle vibrazioni della cicala, come risulta dalla figura 240.

Le onde irradiate sono analoghe a quelle smorzate, che sono appunto variabili di ampiezza, con frequenza udibile. La ricezione si può quindi fare in modo analogo; cosicchè, operando con un ordinario apparato raddrizzatore, si

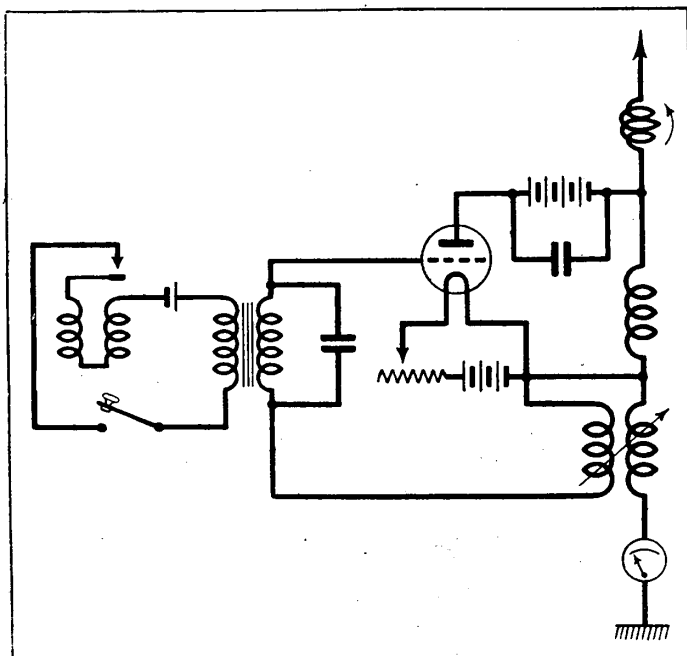



Fig. 239.

avrà nel telefono una successione d'impulsi, come è rappresentato nella curva punteggiata (terza riga), ed il telefono vibrerà con la frequenza delle modulazioni. La portata del trasmettitore ad onde modulate, rispetto a quella ad onde persistenti, risulta ridotta, poichè la ricezione sfrutta solo la differenza tra il valore massimo e quello minimo dell' oscillazione modulata; ma si ha il vantaggio che la ricezione può essere fatta con tutti i ricevitori per onde smorzate o radiofoniche.

Se la stazione è alimentata da un alternatore a frequenza musicale, per avere la trasmissione ad onde modulate è sufficiente escludere il complesso di raddrizzamento della tensione di alimentazione; la generazione della valvola allora si

ha solo durante le alternanze positive della corrente di alimentazione, e si ottiene quindi una emissione interrotta, analoga a quella smorzata a scintilla.

Si può però anche escludere solo lo spianamento. In tal caso la tensione di placca non è costante, ma varia con la frequenza di alimentazione; si ottiene così una oscillazione modulata. Se poi il raddrizzamento è con due valvole, allora la nota di modulazione è di tonalità doppia di tale frequenza,

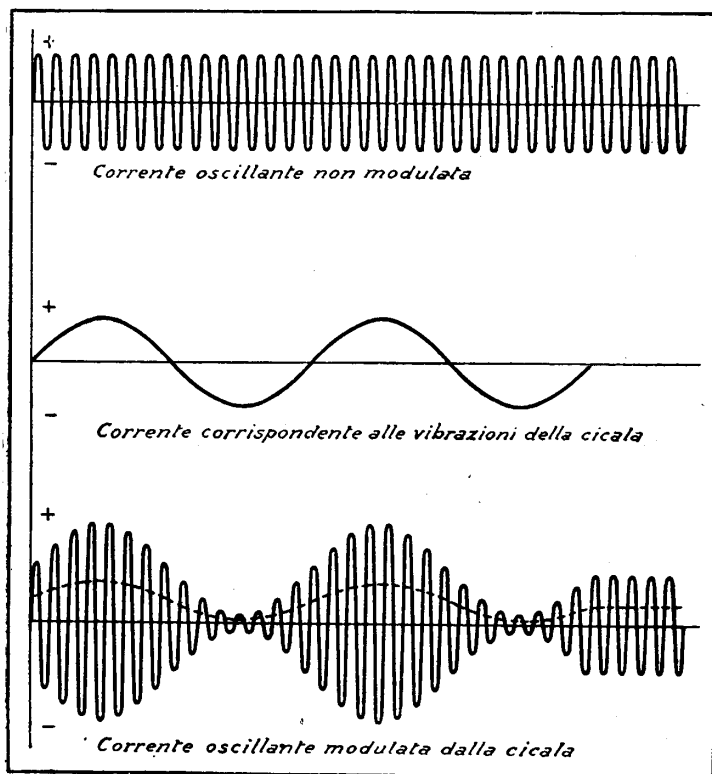



Fig. 240.

228. - Valvole in parallelo. — Se la potenza che si vuol mettere in giuoco in un trasmettitore è superiore a quella che può sopportare una valvola, si può ricorrere a più valvole in parallelo. Si può in tal modo lasciare costante la tensione di placca, e poichè sarà diminuita la resistenza di tutto il circuito anodico, dato che le varie resistenze anodiche risultano in parallelo (nr. 29), così si avrà una corrente maggiore, e quindi una potenza più grande. La disposizione di valvole in parallelo risulta dalla figura 241, e cioè le placche sono riunite fra di loro, e così i filamenti, e così le griglie. Le altre particolarità del circuito (reazione - disposizione del tasto - tensione di placca - accensione dei filamenti - accoppiamento con l'aereo) sono identiche a quelle dei trasmettitori ad una sola valvola. Non tutti i circuiti oscillanti si prestano per l'impiego utile di molte valvole in parallelo; quelli in cui prevale la capacità sulla induttanza e che hanno piccola resistenza sono i più adatti a tale scopo.

229. - Oscillatore pilota. — Negli impianti più moderni, per ottenere che la frequenza dell'onda (e quindi la lunghezza) sia della maggiore costanza possibile, si ricorre al sistema detto ad oscillatore pilota. Si dispone cioè di un generatore di piccola potenza, eventualmente comandato da una lamina di quarzo (vedi nr. 332), nel quale si cura in modo speciale la rigidità degli organi e dei collegamenti, nonchè la costanza delle tensioni di alimentazione, le quali saranno

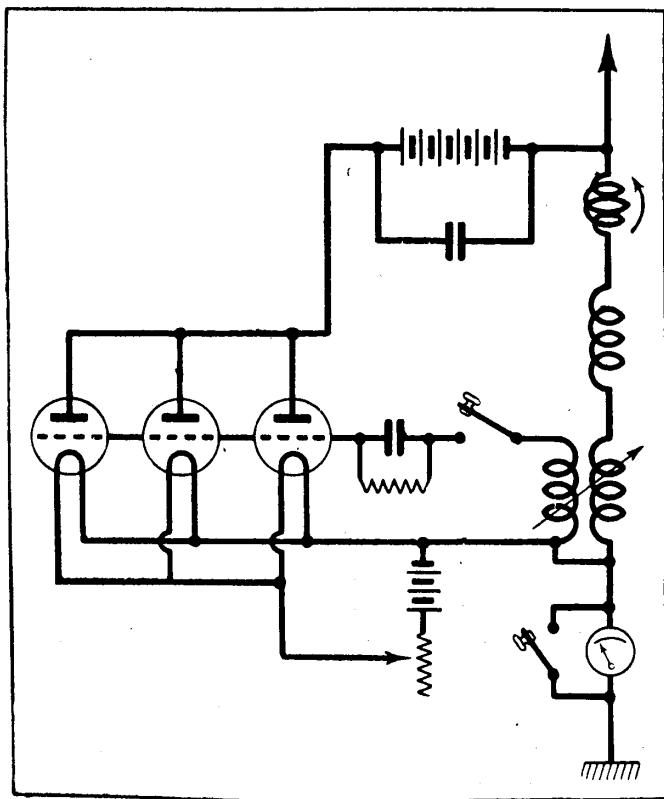



Fig. 241.

preferibilmente ottenute con accumulatori, in maniera da eliminare tutte le cause di variazione della frequenza.

Tale generatore pilota viene poi opportunamente accoppiato alla griglia di una valvola più potente, sulla placca della quale si dispone il circuito chiuso accordato col pilota stesso. Per solito poi questo circuito chiuso farà da eccitatore della griglia di un'altra valvola, e sulla placca di quest'ultima valvola sarà applicato il circuito d'aereo, o direttamente o per induzione, oppure un'altra valvola amplificatrice, a sua volta accoppiata all'aereo.

Un modo semplice di applicazione del pilota, e che vale specialmente per le onde più lunghe è rappresentato nello schema della figura 242.

Nella disposizione in parola (che dagli inglesi è indicata con la denominazione di *master oscillator*), il circuito di griglia della valvola trasmittente è comandato per induzione dal circuito oscillante di placca della valvola pilota, la quale funziona in generazione. La valvola trasmittente è alimentata da una sorgente ad alta tensione, rappresentata dal generatore G, mentre la valvola pilota o eccitatrice è alimentata da una batteria, a tensione più bassa.

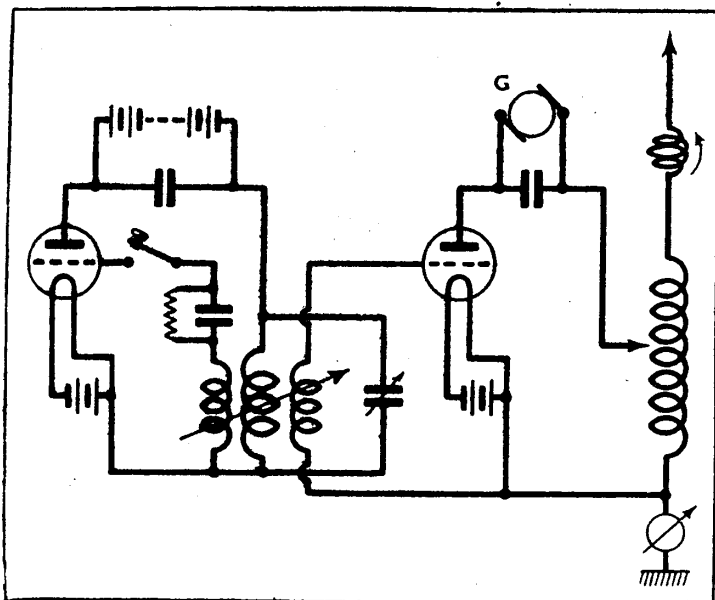



Fig. 242.

In definitiva il piccolo trasmettitore pilota eccita il trasmettitore vero, nel quale il triodo ha funzioni di amplificazione anzichè di generazione, mancando la reazione fra la placca e la griglia. La frequenza sull'aereo è comandata completamente dalla frequenza del circuito oscillante di placca della valvola pilota.

La manipolazione con tasto si può fare sulla griglia della valvola pilota, per piccolissime potenze. Nel caso di potenze un poco importanti, si preferisce eseguirla sulla placca, eventualmente con adatti dispositivi di assorbimento dell'energia di alimentazione, quando il tasto è alzato, e la valvola non lavora.

230. - Amplificazione con neutralizzazione. — Il circuito della figura 242 può impiegarsi con accoppiamento molto debole e su onde lunghe, ma è meno adatto quando si tratti di onde piuttosto corte, sotto ai 100 metri, ad es. Per tali onde, anche tenendo bene separato il circuito di aereo da quello di griglia della valvola di potenza, si ha egualmente un accoppiamento fra placca e griglia per effetto della capacità placca-griglia di questa valvola, e tale capacità, che è sempre piccolissima, può essere sufficiente, date le alte frequenze

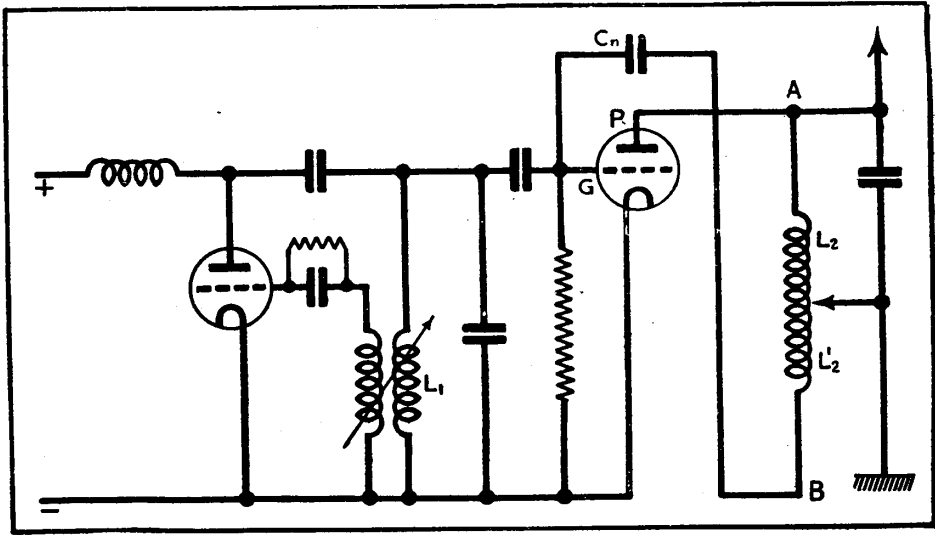



Fig. 243.

in gioco, per fare innescare le oscillazioni del circuito di aereo, indipendentemente da quelle generate dal circuito pilota. In queste condizioni quindi l'onda generata finisce per

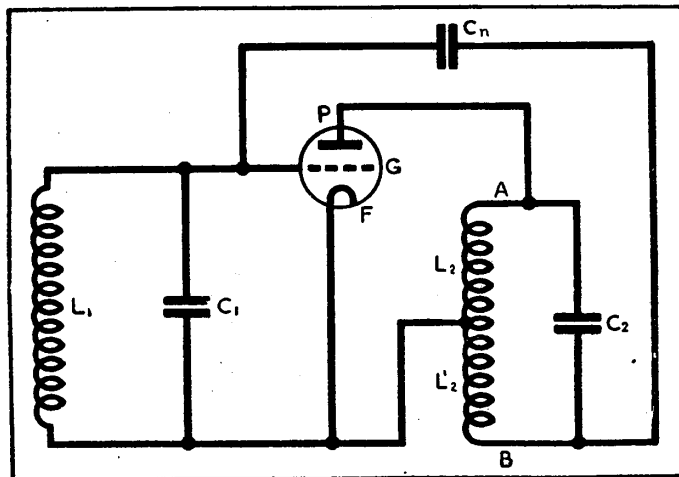



Fig. 244.

essere quella propria dell'aereo (1), anzichè quella del pilota, e il complesso diventa così un circuito con eccitazione diretta sull'aereo, con tutti i relativi difetti.

---

(1) Nel caso in cui tra pilota e aereo vi siano vari amplificatori, l'innesco delle oscillazioni può avvenire in una qualunque delle valvole amplificatrici, attraverso la capacità placca-griglia di una delle valvole, la quale abbia, rispettivamente sulla griglia e sulla placca, due circuiti oscillanti accordati.

Per evitare ciò si usano, anche per onde maggiori di 100 metri, i circuiti neutralizzati (fig. 243), nei quali cioè si cerca di distruggere l'effetto della capacità placca-griglia della valvola amplificatrice, mediante un dispositivo che, attraverso al neutro-con-

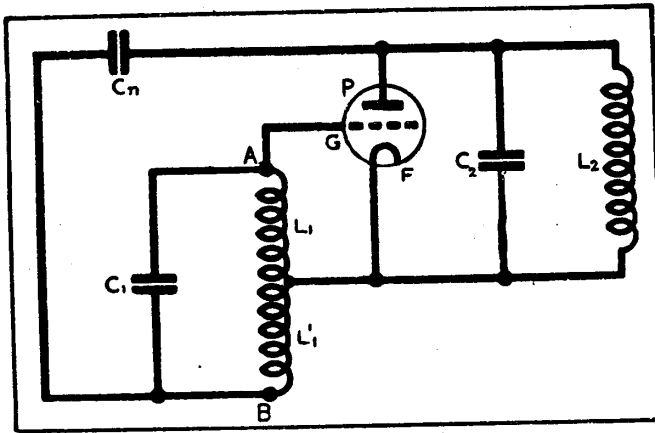



Fig. 245.

densatore C_n, fa arrivare sulla griglia degli impulsi esattamente eguali e contrari a quelli che sulla stessa griglia arrivano attraverso la capacità interelettrodica placca-griglia. A tale scopo l'induttanza L_2 del circuito oscillante amplificatore si prolunga con un tratto

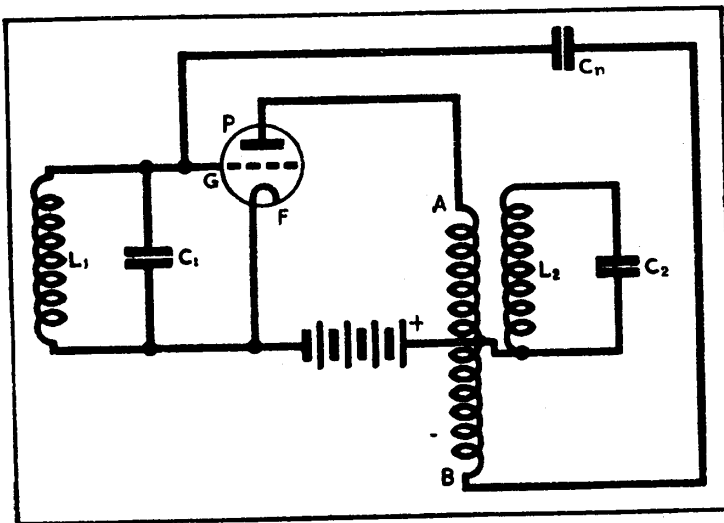



Fig. 246.

L'_2 accoppiato a L_2, in modo che il punto B si trovi esattamente a potenziale eguale e contrario ad A: e poichè A è collegato alla placca P ed influisce sulla griglia G attraverso alla capacità P-G, così si collega fra B e G un condensatore piccolissimo C_n, di capacità

eguale a quella P-G. Su G arrivano quindi, attraverso le due capacità eguali, degli impulsi provenienti dai punti A e B che sono a potenziali eguali, ma opposti; i due impulsi si distruggono quindi mutuamente, e resta così eliminato ogni accoppiamento fra placca e griglia della valvola amplificatrice; questa non potrà quindi innescarsi.

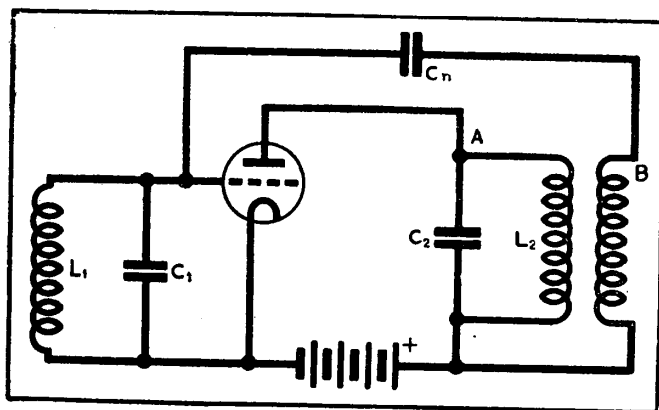



Fig. 247.

Quando le onde sono molto corte, allora è forte anche l' effetto induttivo fra i circuiti; si rende quindi necessario non solo neutralizzare la capacità placca-griglia, ma altresì schermare, e cioè chiudere in un involucro metallico, il circuito pilota, per impedire che si formino accoppiamenti diretti fra le bobine L_1 e L_2.

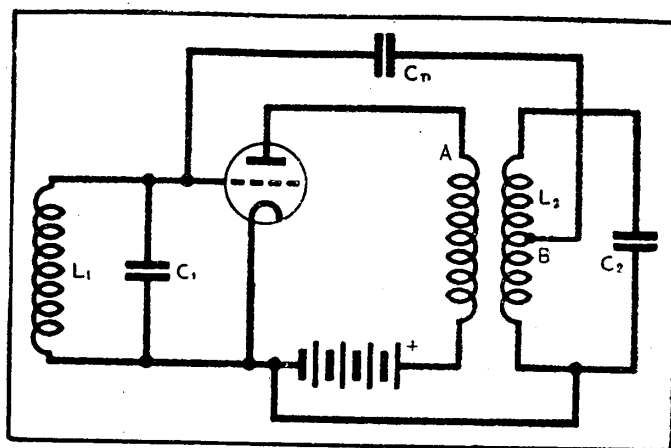



Fig. 248.

La regolazione del condensatore C_n si fa per tentativi, e ci si accorge che la neutralizzazione è ottenuta quando, spegnendo la valvola pilota, non si ha nessuna corrente oscillante nel circuito L_2 - C_2. Se ciò non avvenisse, sarebbe indizio che le oscillazioni si innescano spontaneamente nell' amplificatore.

Vi sono vari altri modi di neutralizzare gli amplificatori. Quello esaminato appartiene al tipo della *neutralizzazione anodica* e può assumere anche la forma della fig. 244.

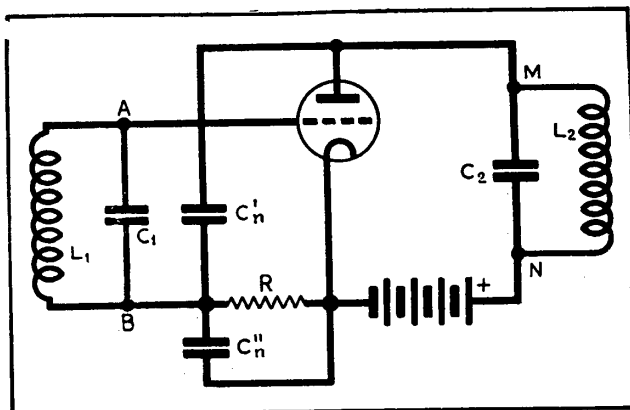



Fig. 249.

In questa alla griglia G arrivano dalla capacità P-G e dal condensatore C_n impulsi uguali ed opposti, provenienti dai punti A e B, che sono precisamente a potenziali uguali ed opposti rispetto allo zero comune, costituito dal filamento F.

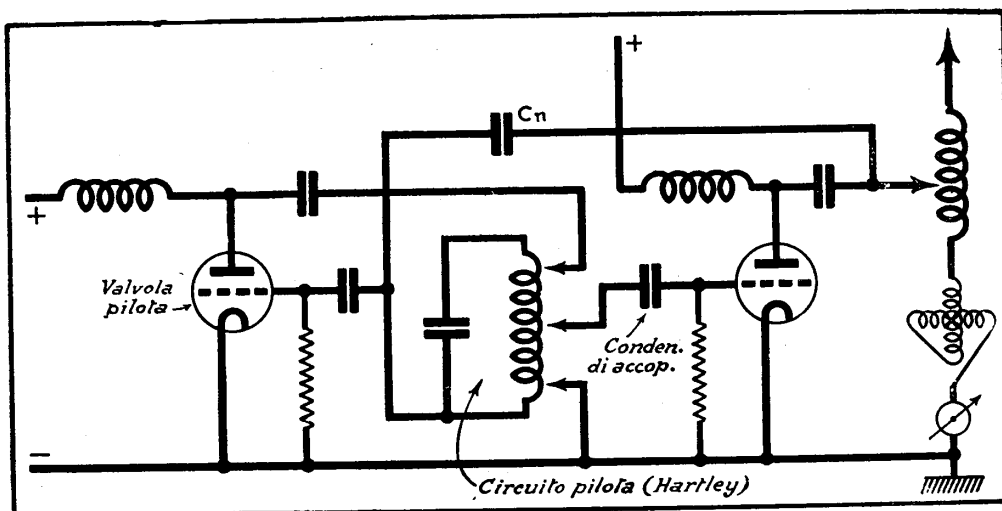



Fig. 250.

Un altro modo, detto *neutralizzazione di griglia*, si può ottenere ricavando i due punti A e B di potenziale uguale ed opposto sul circuito oscillante di griglia, anzichè su quello di placca (fig. 245). Altre disposizioni hanno il neutro condensatore su un circuito accoppiato al circuito oscillante, come nelle figure 246-7-8.

Un altro modo di neutralizzazione si basa sul fatto che l'accoppiamento del circuito di griglia con quello di placca può avvenire sia attraverso la capacità placca-griglia, dal punto M, sia attraverso la capacità filamento-griglia, dal punto N.

Perciò sono impiegati due condensatori C'_n e C''_n, uno verso la placca e l'altro verso il filamento. Per ristabilire la continuità tra filamento e griglia viene disposta una forte resistenza R (fig. 249). In questo sistema, detto *difarad,* i due condensatori C'_n e C''_n possono avere capacità relativamente forti, bastando che il loro rapporto sia uguale al rapporto tra la capacità placca-griglia e la capacità filamento-griglia.

Si può accennare infine che in taluni casi l'amplificazione si fa contemporaneamente ad una moltiplicazione di frequenza adatta.

Il circuito di placca L_2C_2 viene allora accordato sull'armonica di cui trattasi; l'oscillazione sulla placca sarà quindi di frequenza armonica di quella di griglia (generalmente sarà l'armonica due o tre). Essendo i due circuiti di placca e di griglia accordati su frequenze

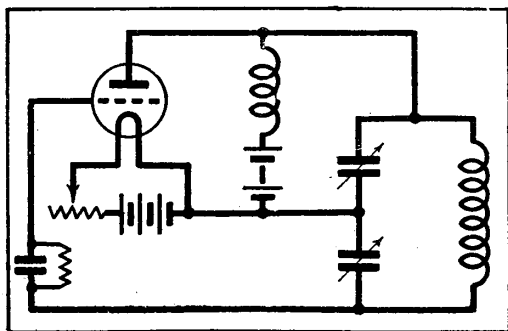



Fig. 251.

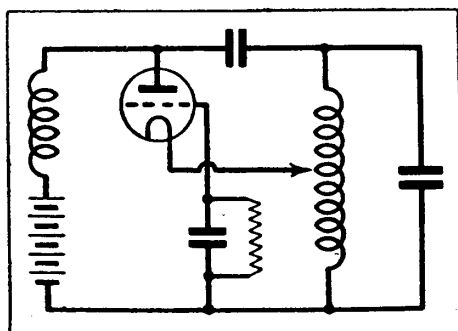



Fig. 252.

molto diverse, l'accoppiamento dovuto alla capacità placca-griglia non sarà sufficiente per innescare nessuna oscillazione, e non occorrerà quindi alcuna neutralizzazione. Naturalmente in questo caso si avrà emissione elettronica solo durante le fasi positive della griglia, cioè una volta ogni due o tre periodi della corrente armonica di placca, anzichè una volta ad ogni periodo.

Un ultimo sistema di amplificazione tra i circuiti accordati che non richiede normalmente la neutralizzazione è quello che si ottiene con le valvole schermate, poichè in esse la capacità placca-griglia è ridotta a così piccoli valori da rendere di solito impossibile l'innesco delle oscillazioni per questa causa. L'amplificazione con la valvola schermata richiede però la schermatura dei circuiti (almeno per le onde più corte), affinchè sia evitato l'accoppiamento diretto fra le induttanze dei due circuiti di placca e griglia.

Nella fig. 250 si dà lo schema di un trasmettitore moderno (Marconi TN1), con oscillatore pilota e amplificazione neutralizzata.

231. - GENERAZIONE DI ONDE PERSISTENTI MOLTO CORTE. — Per la generazione di onde persistenti molto corte si può usare il circuito normale ad accoppiamento magnetico, oppure quello con accoppiamento elettrostatico.

Si possono poi ottenere onde cortissime, anche di soli 10 metri o meno con gli schemi delle figure 251 e 252. Nel caso della fig. 252 il condensatore del circuito oscillante può mancare, essendo la capacità data da quella propria delle bobine.

Si può ricorrere pure allo schema della figura 253, con un circuito detto ad altalena (Mesny). Le due induttanze A e B sono avvolte in senso contrario, e hanno i loro capi collegati l'una (B) alle griglie di due triodi, l'altra (A) alle placche. Le due induttanze sono fra loro strettamente accoppiate: i condensatori in parallelo permettono di regolare i circuiti per le onde comprese entro una data gamma, e possono anche mancare, qualora si voglia generare onde ultracorte (alcuni metri). In tal caso lo schema assume la forma della figura 254, e le in-

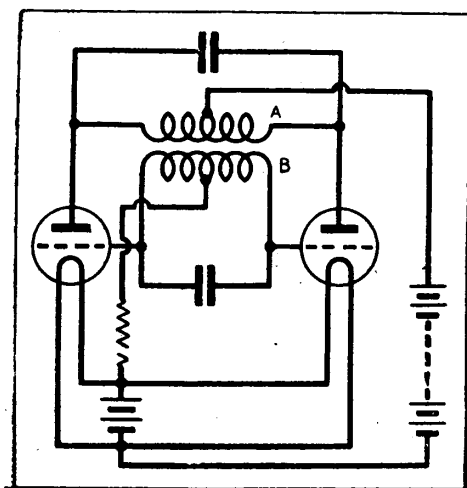



Fig. 253.

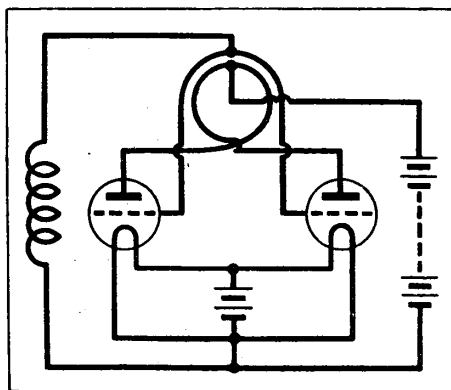



Fig. 254.

duttanze sono ridotte ciascuna ad una sola spira. Dai punti di mezzo delle induttanze, (figg. 253 e 254) partono i collegamenti ai filamenti; quello di placca attraverso alla sorgente ad alta tensione; quello di griglia attraverso ad una resistenza di alcune migliaia di ohm, per ridurre la corrente nel circuito. Gli elettrodi nelle due valvole sono a potenziali identici; le oscillazioni sono limitate alle due induttanze; ed il circuito di griglia e quello di alimentazione di placca non sono percorsi da correnti oscillanti. Per precauzione si usano però delle impedenze sui due circuiti, per evitare deviazioni della c. o. fuori del circuito oscillante stesso.

Le valvole da usare per questa generazione devono avere piccola resistenza di placca e piccola capacità fra griglia e placca, e non tutti i tipi rispondono a tale requisito; le più adatte sono quelle a corno e cioè con le uscite di placca e di griglia dal bulbo, anzichè dal peduncolo.

Capitolo XIV.

Valvola a tre elettrodi in amplificazione.

232. - Generalità. — I triodi, i tetrodi, ed i pentodi si possono impiegare come amplificatori di tensione, di corrente e di potenza.

La frequenza della corrente elettrica da amplificare può essere qualsiasi, poichè le valvole si prestano ottimamente per amplificare correnti o tensioni di qualsiasi frequenza, dalle più alte, corrispondenti alle più piccole lunghezze d'onda usate in rt. (radiofrequenze), alle più basse, usate nelle industrie meccaniche e nell' illuminazione, fino alla frequenza zero, e cioè alla corrente continua.

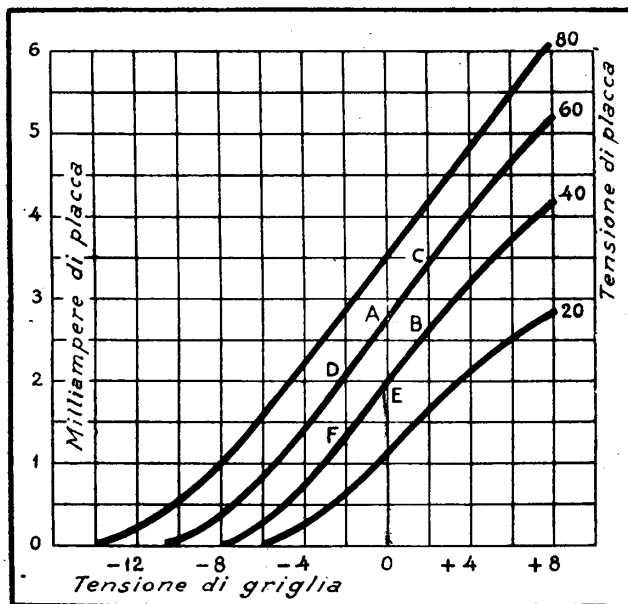



Fig. 255.

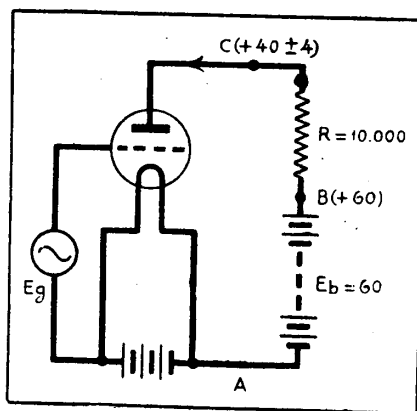
233. - Amplificazione di tensione alternata. – Per vedere come possa ottenersi l'amplificazione di una tensione alternata, tenuto presente quanto già esposto al paragrafo 152 circa le caratteristiche delle valvole, si consideri il triodo di cui le curve sono rappresentate nella figura 255. Si supponga che tra filamento e placca sia applicata semplicemente una batteria di accumulatori di 60 volta, di resistenza trascurabile, e che nessuna f. e. m. sia invece applicata tra filamento e griglia. Il punto iniziale di funzionamento sarà quello A della carat-

teristica, corrispondente alla tensione zero di griglia, e la corrente di placca sarà quindi $I_b = 2,7$ mA.

Se in tali condizioni si applica tra filamento e griglia una f. e. m. alternata di 2 volta, la griglia assumerà successivamente rispetto al filamento i potenziali + 2 e — 2, e poichè la batteria anodica manterrà la placca costantemente a 60 volta, così il punto di funzionamento della valvola si sposterà lungo la caratteristica 60, fra i punti C e D; la corrente di placca oscillerà cioè fra 2,0 m. A. e 3,4 m. A. Vale a dire che, in corrispondenza della f. e. m. alternata E_g di due volta di ampiezza applicata alla griglia, si sarà ottenuta una corrente alternata $I_p = 0,7$ m.A, che successivamente si aggiungerà o si sottrarrà alla corrente normale $I_b = 2,7$ m. A., facendone oscillare il valore effettivo tra $2,0 = 2,7 - 0,7$ e $3,4 = 2,7 + 0,7$ m. A. Però nessuna differenza di tensione alternativa si sarà avuta sulla placca, in quanto, non essendovi nessuna causa di variazione, la tensione di placca si sarà mantenuta al valore costante di 60 volta. Non si sarà cioè raggiunto lo scopo di ottenere una d. d. p. alternata amplificata, sul circuito di placca. Per avere ciò, occorre inserire nel circuito stesso una resistenza od una induttanza.

Fig. 256.

Si consideri per ora il caso più semplice di una resistenza non induttiva, e si supponga che nel circuito di placca si inserisca una resistenza ad es. di 10.000 ohm (fig. 256). La tensione di placca dovrà necessariamente essere minore, cioè non sarà più di 60 volta, ma sarà diminuita della caduta di tensione attraverso ad R, caduta che per la legge di Ohm è data dal prodotto $R\, I_b$. Per effetto della diminuita tensione di placca, anche la corrente di placca diminuirà, e il punto di funzionamento non sarà più sulla caratteristica 60, ma su una inferiore. Precisamente, per il caso considerato, si può ritenere che l' inserzione della R = 10.000 ohm ridurrà la corrente da 2,7 a circa 2 m. A.; di conseguenza la caduta di tentione sarà di $2/1000 \times 10000 = 20$ volta, e la tensione definitiva di placca sarà $60 - 20 = 40$. Dunque il punto di funzionamento si sarà portato da A, dove era prima della introduzione della R, in E, sulla caratteristica 40 volta.

Se ora si applica nuovamente la f. e. m. alternata $E_g = 2$ volta tra griglia e filamento (fig. 255), il punto di funzionamento non potrà più spostarsi sulla caratteristica 40, fra i punti B ed F, e la corrente di placca non oscillerà più tra 2,7 e 1,3 m. A. Cioè non si otterrà più una corrente alternata I_p di ampiezza 0,7 m. A., che si aggiunge o si toglie a quella normale I_b di 2 m. A., e ciò perchè il potenziale di placca non può rimanere costante, come quando non c'era la R. Infatti, variando la I_b da 1,3 a 2,7 m.A., la caduta di tensione attraverso ai

10.000 ohm dovrebbe variare da 13 a 27 volta ; cosicchè la tensione della placca rispetto al filamento oscillerebbe tra 60 — 13 = 47 e 60 — 27 = 33 volta. Di conseguenza, il punto di funzionamento non si potrà mantenere sulla caratteristica 40 volta, ma si dovrà spostare, abbassandosi sotto tale caratteristica, quando la caduta sarà più alta, perchè la corrente è più intensa ; ed alzandosi nella fase successiva, perchè la caduta è meno grande, come è meno intensa la corrente, seguendo quindi la linea B' F' (fig. 257). Ma la variazione di corrente corrispondente ai punti B' ed F', essendo minore del valore 0,7 che corrisponde ai punti B ed F, anche la variazione nella caduta di tensione sarà minore di 7 volta.

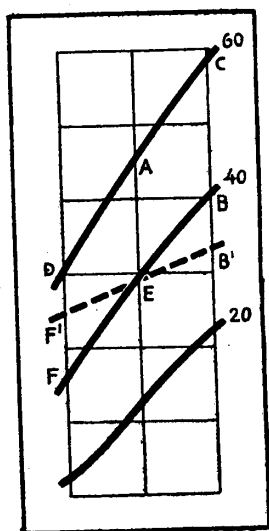



Fig. 257.

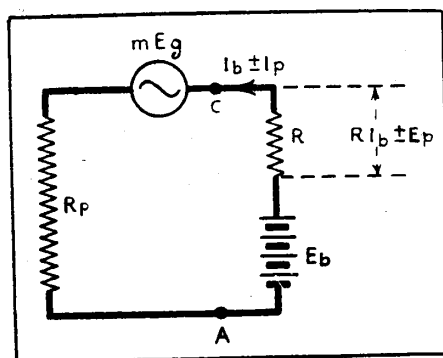



Fig. 258.

Un esame più accurato farebbe in definitiva risultare che la variazione della corrente sarebbe, nel caso considerato, di soli 0,4 m. A., e di conseguenza la variazione nella caduta di tensione di soli 4 volta.

Con la inserzione della resistenza di 10.000 ohm si è dunque ottenuto che l'applicazione tra griglia e filamento di una tensione alternativa di 2 volta determini fra gli estremi B e C una variazione di potenziale da 16 a 24 volta, ciò che significa che tra B e C si è ottenuta una tensione alternata E_p di ampiezza 4 volta, che alternativamente si aggiunge e si sottrae a quella di 20 volta normalmente applicata alla stessa resistenza. Dunque la tensione di 2 volta è stata moltiplicata per 2 dalla valvola, e portata all'ampiezza di 4 volta.

234. - Circuito equivalente alla valvola amplificatrice. — Al risultato ora ottenuto si può giungere anche in altro modo, ricordando quanto si disse al nr. 161 circa l'equazione di Vallauri.

Sempre supponendo di operare nella regione rettilinea delle caratteristiche, e cioè con tensioni negative di griglia, l'equazione si può scrivere:

$$r_p\ i_p = V_p + \mu V_g + K.$$

Ma si è visto che, per effetto del passaggio della corrente i_p attraverso alla resistenza R inserita nel circuito di placca, la tensione a questa applicata risulta diminuita di una caduta Ri_p, data dalla legge di Ohm. La tensione V_p è quindi misurata da:

$$V_p = E_o - R\ (i_{po} + I_p),$$

in cui E_o è la tensione della batteria, e i_{po} e I_p sono le due parti di cui si compone la corrente anodica; parte costante i_{po} e parte alternata I_p.

Se si suppone ancora che la V_g sia composta di una parte costante V_{go} e di un'altra variabile E_g, che è quella che si vuole amplificare, si ottiene in definitiva:

$$r_p\ (i_{po} + I_p) = E_o - R\ (i_{po} + I_p) + \mu\ (V_{go} + E_g) + K.$$

Quando nessuna f. e. m. variabile è applicata alla griglia (cioè $E_g = o$), anche la parte variabile I_p della corrente anodica sarà nulla; si avrà così:

$$r_p\ i_{po} = E_o - R\ i_{po} + \mu V_{go} + K$$

da cui:

$$i_{po} = \frac{E_o + \mu V_{go} + K}{R + r_p}, \qquad (67)$$

che dà la parte costante della corrente di placca, in funzione delle tensioni costanti E_o e V_{go} applicate alla placca ed alla griglia.

Se dalla equazione generale si sottrae quella ora trovata per la corrente costante, si ottiene: $r_p\ i_p = R\ I_p + \mu\ e_g$ cioè:

$$(r_p + R)\ I_p = \mu\ E_g.$$

Questa equazione si interpreta facilmente dicendo che, se si considerano solo le parti variabili delle correnti, il circuito della valvola si può ridurre ad un circuito comprendente la sola sua resistenza di placca r_p, in serie con la resistenza anodica R, ed avente una f. e. m. alternata eguale a quella effettivamente applicata alla griglia (E_g), moltiplicata per il fattore di amplificazione μ. Il circuito della fig. 256 si riduce in tal modo a quello della fig. 258, nella quale sono contemplate solo le parti alternate delle correnti e delle tensioni (nella figura m è il fattore μ, E_b è la tensione E_o).

235. - Amplificazione di tensione. — Dalle equazioni e dal circuito si deduce subito che la corrente alternata I_p di placca (cioè quella che determina la variazione nella

corrente I_b fornita dalla batteria) si può calcolare molto semplicemente dividendo la f. e. m. μE_g per la resistenza totale $R + R_p$: cioè

$$I_p = \frac{\mu E_g}{R + r_p}. \qquad (68)$$

È bene notare che in questa relazione non compaiono direttamente le tensioni costanti E_o e V_{go} applicate alla valvola ; esse sono però rappresentate indirettamente dalla r_p, il cui valore dipende appunto dalle E_o e V_{go}.

Moltiplicando la corrente alternata I_p per la resistenza esterna R, si ottiene subito la tensione alternata E_p, agli estremi della stessa resistenza R : tensione che è quella che interessa creare ; dunque

$$RI_p = E_p = \frac{\mu E_g . R}{R + r_p} \qquad (69)$$

Si può così anche calcolare il rapporto fra la tensione alternata E_p ottenuta sulla placca e quella E_g fornita alla griglia ; cioè l'amplificazione di tensione della valvola. Si ha infatti :

$$\frac{E_p}{E_g} = \frac{\mu R}{R + r_p}. \qquad (70)$$

Nel caso della valvola considerata, essendo $R = 10000$, $r_p = 25000$ e $\mu = 7$, si ha

$$\frac{7 \times 10000}{10000 + 25000} = 2,$$

come si era già trovato.

Dalla espressione del rapporto $\frac{E_p}{E_g}$ sembrerebbe che vi fosse vantaggio ad aumentare fino al massimo possibile la resistenza R disposta nel circuito anodico. Infatti, quando la R fosse molto maggiore di r_p, il rapporto $\frac{E_p}{E_g}$ diventerebbe prossimo a μ, e questo rappresenta il massimo raggiungibile con un amplificatore a resistenza. Questo ragionamento non tiene però conto dell'aumento della caduta di tensione sulla placca, provocato dall'aumento della R ; e non corrisponde quindi al caso reale.

Per meglio comprendere il fenomeno è necessario considerare la cosidetta caratteristica dinamica della valvola.

236. - Caratteristica dinamica dei triodi. — Le caratteristiche finora studiate si dicono statiche, perchè rappresentano le correnti che si hanno a riposo. Cioè se si dà alla placca la tensione di 150 V., ad es. disponendovi una batteria di pile di 150 volta senza alcuna resistenza anodica, e si dà alla griglia la tensione di - 3,5 volta, il punto M (preso sulla caratteristica statica di 150 volta in corrispondenza del punto A che indica precisamente - 3,5 volta di griglia) (fig. 259) rappresenta il funzionamento della valvola per quelle

tensioni di placca e di griglia. Esso dice che per quelle tensioni la corrente è 6,2 mA, come si legge sulla scala delle i_p, pel segmento MA. Se si variasse ora la tensione della griglia, senza toccare il circuito anodico, a misura che aumenta il potenziale negativo di griglia, la corrente diminuirebbe, e viceversa, e il punto di funzionamento si sposterebbe sulla caratteristica statica di 150 volta. Ciò perchè si è supposto che non vi fosse alcuna

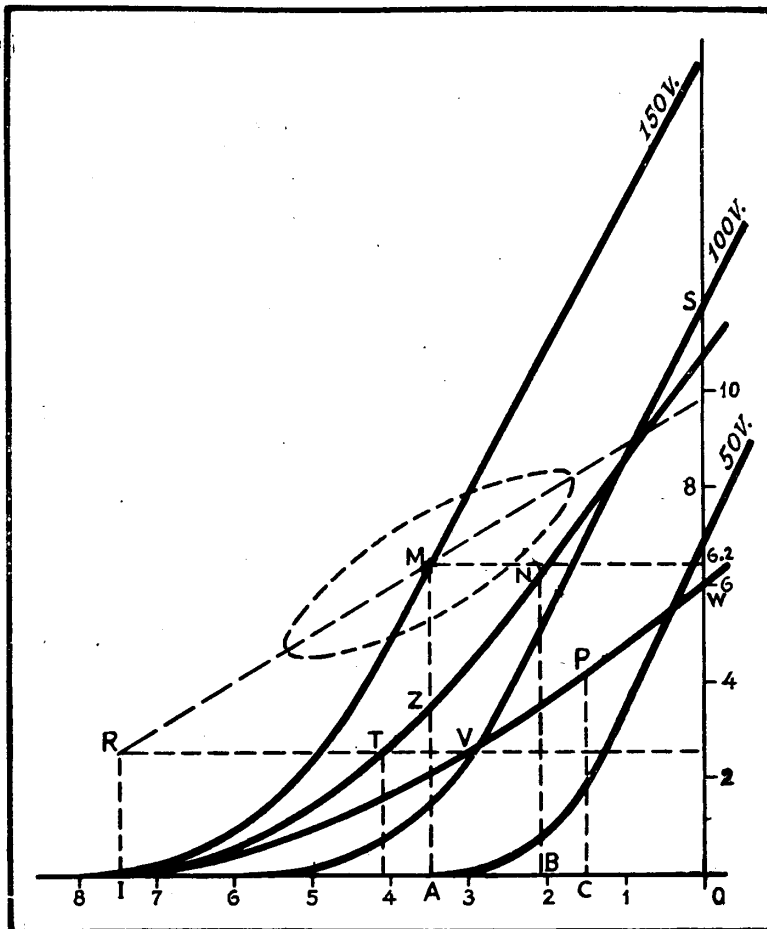



Fig. 259.

resistenza nel circuito anodico, e quindi nessuna caduta di tensione tra batteria e placca. Se però si aggiunge una resistenza, ad es. di 5000 ohm, per il caso della figura, allora la corrente diminuisce, perchè la caduta di tensione dovuta a questa resistenza farà diminuire la tensione applicata alla placca, e quindi anche la corrente ; il punto di funzionamento della valvola non percorrerà più la caratteristica statica dei 150 volta, ma una linea più bassa indicata con TN nella figura.

Se invece di 5000 si mettono 10.000 ohm, la linea percorsa dal punto caratteristico al variare della tensione della griglia sarà ancora più bassa (linea IVPW). Ad ogni

valore della resistenza anodica corrisponde quindi una linea diversa, pure essendo sempre uguale la batteria anodica. Tutte le varie linee, che così hanno origine, e che si chiamano caratteristiche dinamiche, partono tutte dal punto di interdizione I relativo a quella tensione della batteria anodica, e si abbassano sempre più, a misura che la tensione di griglia aumenta, e quindi tende ad aumentare la corrente, perchè contemporaneamente aumenta la caduta Ri attraverso la resistenza anodica.

La ragione del nome caratteristica dinamica o di funzionamento sta in quanto segue:

Si applichi un potenziale fisso negativo di griglia, ad es. OA = - 3,5 volta, e poi si sovrapponga una tensione alternata ad es. pure di 3,5 volta di ampiezza. La griglia oscillerà tra o volta e - 7 volta, cioè il punto che indica il potenziale di griglia percorrerà il tratto IO alternativamente avanti e indietro. Se sulla placca vi è una resistenza di 5000 ohm, il punto che indica la corrente di placca dovrà spostarsi sulla caratteristica dinamica, percorrendola alternativamente nel senso ZIZNSNZ.

Cioè durante il funzionamento o il lavoro (stato dinamico) della valvola, il punto rappresentativo di funzionamento percorre una caratteristica dinamica differente da quella statica.

Per resistenza di placca rispettivamente di o e di 10.000 ohm la caratteristica percorsa sarebbe stata la IM o la IVW.

Se ora si suppone di disporre sul circuito di placca una induttanza pura, senza o con pochissima resistenza ohmica, e si dà alla griglia oltre al negativo fisso OA, una tensione alternata di una data frequenza, la corrente anodica comprenderà una componente alternata della stessa frequenza. Per quest' ultima la induttanza opporrà quindi una certa reattanza; ma la reattanza produce pure una caduta di tensione, la quale è sfasata sulla corrente e quindi sulla f. e. m. di griglia. Il risultato di questo sfasamento e della assenza di resistenza ohmica sulla placca è una caratteristica dinamica, costituita da una curva chiusa, come in figura, intorno al punto M di riposo. Se invece di una semplice induttanza si dispone sul circuito anodico ad es: un circuito oscillante, comprendente induttanza e capacità in parallelo (entrambe senza resistenza), e se esso si accorda sulla frequenza della f. e. m. alternata di griglia, la caratteristica dinamica ridiventa una retta, ma non già partente dal punto di interdizione I, bensì dal punto di funzionamento a riposo M, perchè un tale circuito non darebbe luogo a cadute ohmiche.

Senza entrare in particolari nella questione che é alquanto complessa, basta qui affermare che, al variare delle caratteristiche elettriche del circuito anodico, varia la caratteristica dinamica, la quale perciò dipende anche dal circuito anodico, mentre quella statica dipende solo dalla valvola.

237. - Condizioni di non distorsione. — Perchè gli amplificatori rispondano bene al loro scopo, non debbono deformare le f. e. m. che devono amplificare. Ciò si può ottenere solo facendo lavorare l'amplificatore nella regione rettilinea delle caratteristiche statiche.

Ora è facile vedere che la regione rettilinea è limitata alla parte corrispondente alle tensioni negative della griglia ed inoltre che al disotto di una certa corrente minima le caratteristiche si incurvano, cessando di essere rettilinee. Ciò avviene nella fig. 259 sotto alla retta RTV. Ne segue che la regione utile per evitare ogni distorsione è quella compresa fra l'asse delle i_p (passante per lo zero di griglia) a destra, e detta orizzontale RVT in basso.

Ciò posto, se si vuole lavorare colla valvola corrispondente alla figura, senza distorsione, e con 150 V. di batteria anodica e 5000 ohm di resistenza anodica, il solo tratto utilizzabile è quello TNS. Si potrà così dare la tensione negativa O B = circa 2 volta, ed applicare al massimo una f. e. m. E_g di 2 volta di ampiezza. Ma se si volessero impiegare 10.000 ohm sull'anodo, il tratto utilizzabile sarebbe solo il VPW; quindi si potrebbe solo mettere una tensione negativa di 1,5 volta sulla griglia e applicare una f. e. m. di 1,5 volta di ampiezza. Si potrebbe ottenere di più passando ad una tensione superiore della batteria anodica, con che si avrebbero delle caratteristiche spostate a sinistra, e quindi che consentono una maggiore tensione negativa, ed una maggiore ampiezza di f. e. m. di griglia.

Si vede però che queste diminuiscono entrambe, se aumenta la resistenza anodica: questa è la ragione per la quale non è possibile aumentare molto la resistenza anodica, senza nuocere alla amplificazione ed alla purezza dei segnali amplificati. D'altra parte, non è possibile aumentare indefinitamente la tensione della batteria anodica, sia per ragioni di economia, sia perchè l' isolamento degli elettrodi sarebbe compromesso. In conclusione quindi, non conviene aumentare la resistenza anodica oltre al triplo circa della resistenza di placca R_p. Di conseguenza l'amplificazione $\left(\text{rapporto } \frac{E_p}{E_g}\right)$ non sarà più μ, ma press'a poco 3/4 di μ, come risulta dalla equazione 70. Questo limite di resistenza è inoltre consigliato dalle difficoltà di ottenere grandi resistenze non induttive, che possano sopportare, senza scaldarsi eccessivamente, le correnti di placca (le quali sono sempre relativamente forti), nonchè dalla necessità di evitare eccessive distorsioni, che si verificherebbero se venisse interessata la parte curva delle caratteristiche; ed infine dal fatto che, quando la resistenza R supera $3 \div 4$ volte la resistenza R_p di placca, il guadagno di amplificazione che si otterrebbe aumentandola ancora diventa sempre più piccolo.

238. - Negativo di griglia. — Dalla figura si vede anche che, se si vogliono evitare dispersioni, il massimo negativo di griglia e la corrispondente massima f. e. m. di griglia applicabile sono sempre una frazione del potenziale di interdizione, al disotto della metà di tale potenziale: cioè il punto di base A, B, C, deve essere sempre a destra della metà di OI, potenziale di interdizione corrispondente alla tensione della batteria anodica (7,50 nella figura). Questo potenziale si deduce facilmente dalla tensione della batteria anodica, conoscendo il fattore di amplificazione, perchè è il potenziale che annulla la tensione globale: esso è quindi $E_{go} = \frac{E_{po}}{\mu}$. Si deve fare quindi sempre $V_{go} < \frac{E_{po}}{\mu}$ in valore assoluto. Ciò sempre quando non siano tollerabili le distorsioni. Se invece si possono ammettere, allora la f. e. m. di griglia può essere molto maggiore, e di conseguenza anche la corrente alternata di placca e la corrispondente tensione possono essere molto maggiori.

239. - AMPLIFICAZIONE DI CORRENTE. — Se si considera la f. e. m. E_g agente sulla griglia come la caduta di tensione attraverso ad una resistenza R_1 disposta nel circuito di griglia, con un capo verso il filamento e l'altro verso la griglia, e percorsa da una corrente alternata I_g, allora sarà:

$$E_g = R_1 I_g$$

e quindi, dalla equazione 68:

$$I_p = \frac{\mu R_1 I_g}{R + r_p} \qquad (71)$$

e ancora:

$$\frac{I_p}{I_g} = \frac{\mu R_1}{R + r_p}.$$

Questo rapporto misura l'amplificazione di corrente ottenibile con la valvola. Si vede subito che più piccolo sarà R, e più grande sarà I_p / I_g: al limite, facendo $R = 0$, si ha:

$$\frac{I_p}{I_g} = \frac{\mu}{r_p} R_1 = g R_1 \qquad \text{oppure} \qquad \frac{I_p}{R_1 I_g} = g. \qquad (72)$$

La pendenza g della caratteristica della valvola indica quindi il massimo rapporto ottenibile fra corrente di placca (I_p) e tensione di griglia ($R_1 I_g = V_g$). Però per questo è necessario che sia $R = 0$, nel qual caso sarebbe anche $E_p = 0$, e cioè si avrebbe bensì la massima corrente alternata anodica, ma la relativa tensione alternata anodica sarebbe piccolissima o nulla.

240. - AMPLIFICAZIONE DI POTENZA. — Se si moltiplicano fra di loro le due equazioni 68 e 69 si ha:

$$E_p I_p = \frac{\mu^2 E_g^2 R}{(R + r_p)^2} \qquad (73)$$

Se si considera che E_p e I_p sono i valori massimi della tensione e della corrente alternate di placca, e che si ha

$$W_p = E_{eff} I_{eff},$$

la espressione 73 rappresenta il doppio della potenza alternata che si consuma nella resistenza anodica R e che viene ricavata dalla valvola. Un facile calcolo permette di dimostrare che il massimo valore di questa potenza si ottiene per $R = r_p$. In tal caso la potenza fornita dalla valvola è

$$W = \frac{1}{2} E_p I_p = \frac{1}{2} \frac{\mu^2 E_g^2}{r_p} \qquad (74)$$

Se poi si applica alla griglia la massima E_g consentita dalla valvola, insieme con una adeguata tensione fissa negativa di griglia, per mantenersi nella regione rettilinea delle caratteristiche, allora l'espressione precedente rappresenta la massima potenza alternata che si può ricavare dalla valvola. Dalla famiglia delle caratteristiche e dalle considerazioni svolte ai nr. 152 e 162 si possono dedurre sia le μ o le R_p che le E_g massime, e quindi si può calcolare la massima potenza alternata ricavabile da una valvola determinata.

241. - Influenza della capacità della valvola. — Un effetto analogo all'insufficiente negativo di griglia si ha quando la frequenza della corrente è molto alta (radiofrequenza), a causa della capacità della griglia rispetto al filamento ed alla placca (capacità interelettrodica).

La griglia ed il filamento da una parte, la griglia e la placca dall'altra possono infatti considerarsi come le armature di due condensatori di piccola capacità, in parallelo; e si è visto al nr. 50 che i condensatori si oppongono tanto meno al passaggio delle correnti alternate quanto più alta è la frequenza della corrente, o in altre parole, che la reattanza di capacità diminuisce al crescere della frequenza. Ne segue che alle altissime frequenze usate in R. T., la opposizione al passaggio della corrente attraverso ai condensatori griglia-filamento e griglia-placca diventa piccola, e di conseguenza la tensione alternata di griglia riesce diminuita, come se fosse diminuita la resistenza griglia-filamento.

Per ridurre la capacità in limiti non nocivi, occorrerebbe aumentare le distanze tra filamento e griglia e tra griglia e placca; ma in tal modo si ridurrebbe anche il fattore di amplificazione (nr. 162) e si aumenterebbe la resistenza di placca; cosicchè la riduzione non sarebbe in definitiva conveniente. Il difetto rimane perciò di difficile eliminazione con i triodi; esso è invece eliminato con i tetrodi, come è detto al nr. 168.

242. - Classificazione e costituzione generale degli amplificatori. — Le considerazioni fin qui svolte sono sufficienti a spiegare nelle linee fondamentali il funzionamento dei vari tipi di amplificatori usati nella pratica. Sarà bene tuttavia dar ragione delle particolarità che più frequentemente si incontrano nei tipi comuni di amplificatori.

Tali apparecchi sono generalmente divisi in varie categorie fondamentali, e cioè: *a corrente continua; a corrente alternata; a resistenza; a trasformatore; ad induttanza; a risonanza; misti; aperiodici.*

Al nr. 235 si è visto che la massima amplificazione di tensione che si può teoricamente ottenere con una valvola, mediante l'inserzione nel circuito di placca di una resistenza, è μ, fattore di amplificazione della valvola. Per ottenere una amplificazione maggiore con il tipo a resistenza é necessario ricorrere a successive amplificazioni, impiegando quindi varie valvole in serie, in modo che la tensione amplificata ottenuta agli estremi della resistenza di placca della prima valvola sia portata tra filamento e griglia della seconda valvola, ed analogamente su una terza, quarta, ecc. valvola. Per dare alle varie valvole la corrente di accensione, ed alle varie placche la tensione anodica necessaria, è conveniente usare due sole batterie; i collegamenti fra i vari elementi devono possibilmente permettere tale semplificazione.

243. - AMPLIFICATORI A CORRENTE CONTINUA. — Sono amplificatori del tipo a resistenza e amplificano correnti e tensioni continue.

Lo schema è quello della fig. 260. Quando passa la corrente i_0 nella resistenza R_0 inserita sulla griglia della prima valvola, nel senso della freccia, la prima griglia diventa più negativa, per effetto della caduta R_0 i_0 attraverso alla resistenza R_0. Con ciò la corrente di placca i_1 della prima valvola diminuisce. Questo implica una minore caduta nella R_1 e quindi una tensione più positiva sulla griglia della seconda valvola. La corrente di placca di questa valvola perciò aumenta, e così di seguito. Le correnti di placca delle valvole consecutive hanno dunque una variazione opposta; in altri termini, lo stabilirsi della corrente i_0 nella direzione indicata sulla figura produce rispettivamente una diminuzione di

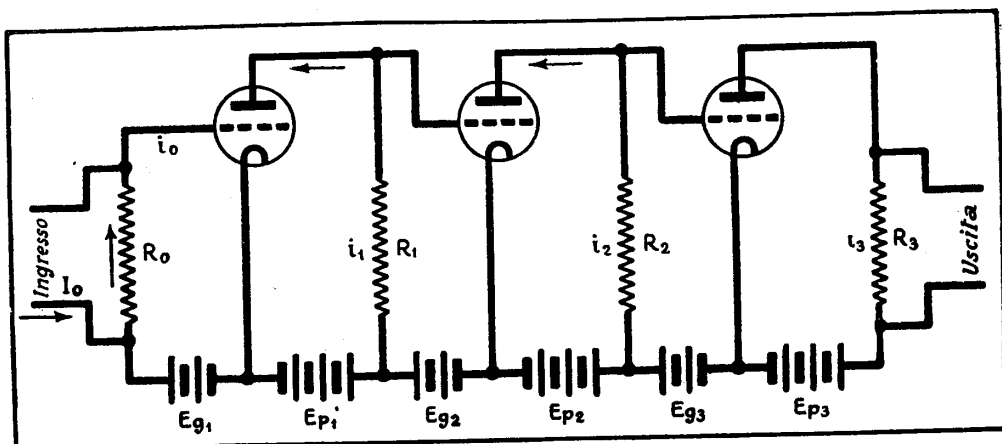



Fig. 260.

corrente anodica nella 1ª, nella 3ª valvola ecc., e un aumento nella 2ª, nella 4ª ecc.; il contrario si verifica quando si ha la interruzione della i_0.

Per ottenere le massime variazioni di corrente nelle ultime valvole occorre disporre di triodi a resistenza interna successivamente sempre più piccola, aumentare progressivamente le tensioni, sia positiva di placca che negativa di griglia, e diminuire progressivamente le resistenze anodiche.

L'amplificazione di tensione segue parallelamente quella di corrente, essendo in ogni valvola la tensione amplificata misurata dal prodotto della corrente anodica per la resistenza anodica.

Nella figura 260 le batterie E_{g1}, E_{g2}, E_{g3} figurano col negativo verso il filamento. Ciò presuppone che le resistenze R_0, R_1, R_2 ecc. siano molto grandi di fronte alle resistenze delle valvole, di modo che le cadute di tensione $R_0 i_0$, $R_1 i_1$, $R_2 i_2$ ecc., essendo relativamente grandi, tendono a rendere troppo negative le griglie. Di qui la necessità di ridurre tali tensioni negative, che risultano applicate tra griglia e filamento, con batterie di griglia positive verso la

griglia. Quando però le resistenze R_0, R_1 ecc. non sono grandi, allora, per dare sufficiente negativo alle griglie, può essere necessario di impiegare batterie di griglia col negativo verso la griglia, anzichè verso il filamento.

244. - AMPLIFICATORI A CAPACITÀ E RESISTENZA. — L'uso di tante diverse batterie anodiche e di griglia è un inconveniente degli amplificatori a corrente continua. Esso si può evitare se si tratta di amplificare delle correnti o delle tensioni alternate, di frequenza non eccessivamente bassa, perchè mediante opportuni condensatori di blocco diventa possibile impedire il passaggio alle correnti continue, pur lasciando libero corso alle correnti alternate, con cadute di tensione praticamente trascurabili.

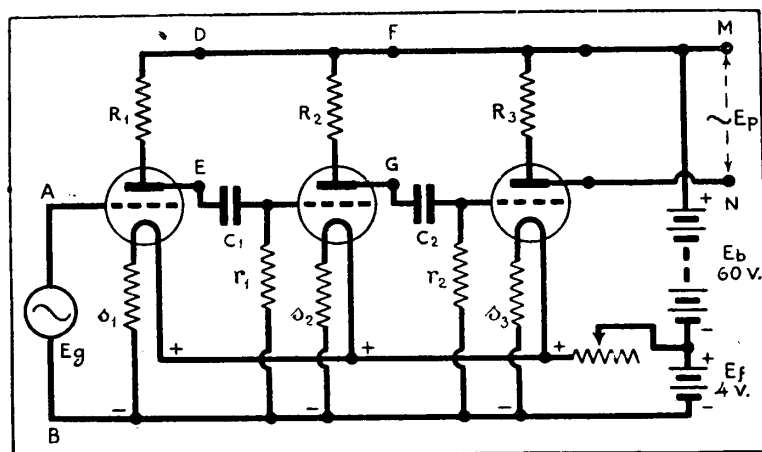



Fig. 261.

Lo schema generale degli amplificatori a resistenza e capacità (valevole solo per correnti alternate) è quello della fig. 261.

La connessione tra placca e griglia di due valvole successive deve essere fatta a mezzo di un condensatore (C_1, C_2, ecc.), il quale, mentre non ostacola la trasmissione delle correnti alternate, si oppone al passaggio di quelle continue della batteria E_b comune alle varie valvole. Senza tale condensatore infatti, le successive griglie sarebbero portate alla stessa tensione (60 ÷ 130 volta circa) delle rispettive placche.

In conseguenza di tale condensatore, la griglia viene ad essere isolata, ed il potenziale da essa assunto rispetto al filamento diverrebbe rapidamente ed eccessivamente negativo (vedi nr. 182). Per ovviare a ciò si deve disporre tra griglia e filamento una resistenza (r_1, r_2, ecc.) attraverso alla quale la griglia possa assumere il potenziale del filamento, o meglio un potenziale convenientemente negativo rispetto al filamento, onde evitare ogni distorsione. A tale scopo si può, nel modo più semplice, disporre delle piccole resistenze (s_1, s_2, ecc.) in serie

con il filamento, e tali che la caduta di tensione attraverso ad esse porti la griglia alla desiderata tensione negativa rispetto al filamento. Le piccole resistenze adatte allo scopo sono dell'ordine di un ohm.

Quando si tratta di amplificare solo delle tensioni, le resistenze R, come si é già detto, devono essere le più grandi possibili, cioè almeno 2 ÷ 3 volte la resistenza di placca della valvola e quindi, in pratica, di circa 50 ÷ 80.000 ohm. Queste resistenze si ottengono con avvolgimenti di filo di altissima resistività e di diametro proporzionato alla corrente di placca che devono portare, ma sempre piccolissimo.

Le resistenze r_1, r_2, ecc. devono essere molto maggiori delle precedenti R, poichè, essendo molto grande la resistenza di griglia, una piccola r_1, r_2 ecc. funzionerebbe come un corto circuito della griglia, e la tensione proveniente dalla placca ne sarebbe notevolmente diminuita. D'altra parte la corrente di griglia è sempre talmente piccola, che riesce molto più facile realizzare resistenze altissime, che possano sopportare tali correnti senza scaldarsi. Esse sono in genere di qualche megaohm (3 ÷ 6); e si ottengono nel modo più semplice con un tratto di matita o di inchiostro di china sopra un foglio di fibra, che poi si copre di paraffina, oppure con un tubetto di vetro su cui sia stato depositato uno strato sottilissimo di tungsteno evaporato. Vi sono poi attualmente in commercio delle ottime resistenze nel vuoto, di svariata costituzione, molto adatte allo scopo.

Quanto alle capacità C_1, C_2, ecc., esse dipendono dalla frequenza della tensione alternata da amplificare; si usano in genere del valore di 2 ÷ 3 mμF. per gli amplificatori di audiofrequenza; e di 0,10 ÷ 0,50 mμF. per gli amplificatori di radiofrequenza.

245. - AMPLIFICATORI A TRASFORMATORE. — Negli amplificatori a resistenza la massima amplificazione ottenibile è μ, fattore di amplificazione. In pratica però tale valore non si raggiunge; cosicchè per ottenere una forte amplificazione è necessario usare molte valvole in serie, con conseguente spesa di accensione e con complicazione di circuiti.

Quando si tratta di frequenze acustiche, l'amplificatore a trasformatore permette di ottenere un'amplificazione superiore, specialmente se il trasformatore è del tipo a nucleo di ferro, con circuito magnetico chiuso, ed è costruito con cura e con materiali adatti. Questo metodo, utilizzabile per le audiofrequenze (amplificatori di nota), non si può adoperare per le radiofrequenze, date le difficoltà da evitare, sia che si abbiano sensibili perdite nel nucleo di ferro, a causa della frequenza, sia che il trasformatore stesso (abbia o no il nucleo di ferro) acquisti per la capacità propria degli avvolgimenti una frequenza propria, dell'ordine di quella da amplificare, il che renderebbe il trasformatore efficente per quella data frequenza (o lunghezza d'onda), e meno efficente per altre onde e frequenze. Esso darebbe così luogo ad una distorsione di frequenza, che interessa evitare, se si vuole ottenere una esatta riproduzione delle tensioni da amplificare.

Lo schema dell'amplificatore a trasformatore è quello della figura 262. La tensione alternata da amplificare che si suppone di audiofrequenza, viene applicata al primario di un trasformatore di entrata, il cui secondario viene inserito fra griglia e filamento della prima valvola. Nel circuito di placca si inserisce il primario di un secondo trasformatore T_1, il cui secondario è connesso tra griglia e filamento della seconda valvola, e così via.

Per la nota proprietà del trasformatore, la tensione disponibile agli estremi del primario di T_1, viene applicata alla seconda valvola, moltiplicata per il rapporto di trasformazione del trasformatore, $a = \frac{n_2}{n_1}$, cioè per il rapporto fra il numero delle spire secondarie e quello delle spire primarie. È quindi necessario esaminare fino a che limite sia vantaggioso aumentare tale rapporto, ed a questo scopo valgono le seguenti considerazioni: Un trasformatore si dice perfetto

Fig. 262.

quando: 1°) il nucleo magnetico sia così perfettamente costruito che tutto il flusso del primario sia concatenato con il secondario, senza che avvengano dispersioni di flusso; 2°) non abbia perdite sensibili di potenza per correnti parassite o per isteresi magnetica nel nucleo di ferro; 3°) abbia una sufficente induttanza nel primario; 4°) abbia gli avvolgimenti con minima resistenza ohmica, sia al primario che al secondario.

Un trasformatore perfetto, messo in un circuito a corrente alternata, con il secondario ed il primario chiusi su due forti resistenze, che nel caso presente sono le resistenze di placca (sul primario) e di griglia (sul secondario), si comporta come una semplice resistenza ohmica, che si può calcolare aggiungendo alla resistenza dell'avvolgimento primario, sempre piccola, la resistenza totale del circuito secondario divisa per il quadrato del rapporto di trasformazione. Ne segue che se tale rapporto fosse molto grande, il trasformatore si comporterebbe come una resistenza molto piccola inserita nel circuito anodico, e la d. d. p. che si otterrebbe ai suoi estremi sarebbe piccola, come si è visto nel caso dell'ampli-

ficatore a resistenza. D'altra parte tale rapporto non potrebbe essere troppo piccolo, senza compromettere l'amplificazione che si desidera.

Un esame più accurato della questione porta alla conclusione che il miglior rapporto di trasformazione è misurato dalla radice quadrata del rapporto fra le resistenze dei due circuiti, e, nel caso presente, fra resistenza di griglia della valvola seguente e resistenza di placca della valvola precedente il trasformatore. In genere la resistenza di griglia è circa 10 ÷ 30 volte quella di placca; cosicchè il miglior rapporto varia da 3 a 5 circa (1).

Sarà bene inoltre che il numero di spire del primario sia piuttosto alto, tale cioè che la impedenza del primario (per la frequenza da amplificare) sia molto superiore alla resistenza di placca; un numero di spire primarie troppo piccolo darebbe un flusso magnetico insufficiente per il buon funzionamento del trasformatore. Ad es. per un amplificatore di correnti ad audiofrequenza, il trasformatore intervalvolare, alimentato al primario con una tensione alternata a 800 periodi al sec. (valore medio dell'audiofrequenza) ed a 100 volta, e con il secondario aperto, deve assorbire meno di un milliampere, se la resistenza di placca è di 25.000 ohm (2).

Quando sia costruito nel modo ora esaminato ed abbia il rapporto di trasformazione sopraddetto, il trasformatore intervalvolare equivale ad una semplice resistenza non induttiva, eguale alla resistenza di placca; cosicchè l'amplificazione agli estremi del suo primario, (secondo la formula $\frac{E_p}{E_g} = \frac{\mu R}{R + r_p}$) diventa $\frac{\mu}{2}$; e poichè la tensione al secondario si ottiene moltiplicando la tensione primaria per il rapporto di trasformazione *a*, ne segue che l'amplificazione definitiva sarà $\frac{\mu}{2}$ a. Ad es. in valvole comuni, di fattore di amplificazione 8, con un trasformatore di rapporto 4, si può avere, nelle migliori condizioni, l'amplificazione $\frac{8}{2} 4 = 16$. Con un amplificatore a resistenza, la massima amplificazione ottenibile in pratica con la stessa valvola non potrebbe superare 6 ÷ 7.

Nello studiare l'amplificatore è infine necessario proporzionare razionalmente i due trasformatori non intervalvolari (quando esistono), cioè i trasformatori di entrata e di uscita T e T_3 della figura 262. La regola per tali trasformatori è

---

(1) In realtà, quando la griglia è negativa, la vera e propria resistenza di griglia è enorme e molto superiore di 10 ÷ 20 volte quella di placca. Tuttavia il ragionamento è sufficientemente esatto, perchè la capacità della griglia e la capacità propria dell'avvolgimento danno luogo ad una reattanza molto minore della resistenza ohmica di griglia, e che è precisamente dell'ordine di 10 ÷ 30 volte la resistenza di placca. Il risultaot è quindi approssimativamente lo stesso.

(2) Una verifica più comoda potrà farsi usando corrente a frequenza ordinaria di 45 ÷ 50 periodi. La impedenza essendo in tal caso circa 20 volte minore che a 900 ÷ 1000 periodi, la corrente non dovrà superare 10 ÷ 20 milliampere.

analoga a quella degli intervalvolari, vale a dire che anche per essi il migliore rapporto di trasformazione è quello che si ottiene calcolando la radice quadrata del rapporto fra la resistenza del circuito secondario e quella del circuito primario; mentre la impedenza del primario (con il secondario aperto) deve essere molto maggiore della impedenza esterna del primario stesso. Nel caso del trasformatore T, la resistenza del secondario è essenzialmente quella della prima griglia, mentre quella del primario è quella del circuito esterno, che può essere una linea telefonica, una resistenza di placca di un precedente amplificatore, ecc. Nel caso del trasformatore T_3, la resistenza del primario è quella dell'ultima placca, mentre al secondario si può avere un telefono, una linea telefonica, un'altra valvola, ecc. È necessario quindi che tali trasformatori siano studiati con i criteri relativi alle caratteristiche dei circuiti esterni all'amplificatore. Talvolta il trasformatore di entrata ha due o più avvolgimenti, o due o più prese sullo stesso avvolgimento, per potersi adattare a diverse caratteristiche del circuito stesso.

246. - AMPLIFICATORI AD INDUTTANZA. — Sono analoghi a quelli a resistenza, con la differenza che al posto delle resistenze ohmiche R (fig. 261) hanno forti induttanze, aventi piccola resistenza ohmica. Con essi si hanno due vantaggi, e cioè:

1° la piccola resistenza ohmica rende piccola la caduta della tensione continua fornita dalla batteria, cosicchè la tensione applicata alla placca è sensibilmente eguale alla tensione della batteria E_p, il che fa diminuire (rispetto agli amplificatori a resistenza) la resistenza di placca r_p, e quindi aumenta l'amplificazione;

2° la d. d. p. alternata che si ha agli estremi della induttanza dipende dalla frequenza della corrente alternata, la quale può rendere enorme la impedenza della induttanza stessa, ottenendosi così un risultato analogo ad un aumento grandissimo di resistenza. Si può quindi arrivare facilmente al valore massimo della amplificazione (μ), che con la sola resistenza difficilmente si raggiunge.

Nonostante questi vantaggi, l'amplificazione ad induttanza è poco usata, perchè alle audiofrequenze la induttanza dovrebbe essere molto forte, ed essere quindi a nucleo di ferro; ed allora si preferisce l'uso dei trasformatori, che danno maggiore amplificazione, pressapoco con la stessa spesa. Alle radiofrequenze l'induttanza potrebbe essere molto minore; ma poichè è difficile fare tali induttanze senza che esse acquistino una capacità propria, e quindi una frequenza propria, ne segue che l'efficenza dell'amplificatore viene a variare con l'onda usata, cioè si ha una distorsione di frequenza, che in genere non è praticamente desiderabile, a meno che si tratti di ricevere su un'onda fissa.

247. - AMPLIFICATORI A RISONANZA. — Una variante interessante degli amplificatori a trasformatore si può ottenere, specie per le radiofrequenze, mettendo in parallelo sulla induttanza primaria o su quella secondaria una capacità

variabile, in modo da far assumere volta per volta, al circuito oscillante che così si ottiene, una frequenza eguale a quella della tensione che si deve amplificare.

In tali condizioni, la d. d. p. che si ricava agli estremi del circuito accordato può essere superiore a quella prevista dalle teorie precedenti, poichè

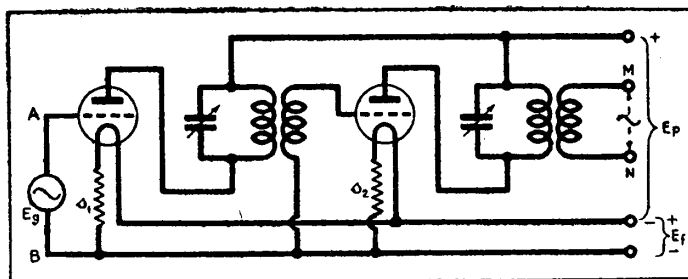



Fig. 263.

essa dipende dal decremento del circuito stesso, e può essere molto forte, se il decremento è sufficientemente piccolo.

Il collegamento può essere uno di quelli indicati nelle figure 263 e 264.

Questi amplificatori hanno l' inconveniente di entrare facilmente in oscillazione, per effetto della reazione fra i circuiti accordati di placca e di griglia, attraverso la capacità placca-griglia delle valvole. Ciò per le più alte frequenze.

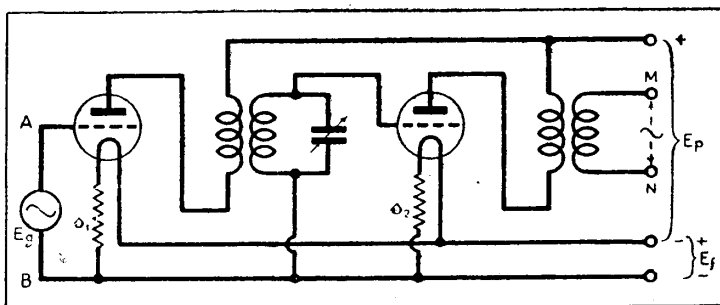



Fig. 264.

La oscillazione così prodotta, interferendo con quella, molto prossima, in arrivo, dà luogo a dei fortissimi battimenti udibili : si dice che l'apparecchio fischia.

Per ovviare all' inconveniente si può ad esempio smorzare il circuito accordato mediante una resistenza sulla induttanza del circuito accordato di placca. Con ciò però si diminuisce il decremento, e quindi la selettività e la sensibilità ; e la amplificazione risulta molto ridotta.

Migliori risultati si hanno neutralizzando il circuito, come è stato indicato al n. 230. Con adatti neutrocondensatori e neutrotrasformatori si può ottenere

un notevolissimo aumento di selettività e di sensibilità, evitando le oscillazioni spontanee.

Usando la neutralizzazione è importante il giusto proporzionamento del neutrotrasformatore, cioè il calcolo del rapporto di trasformazione più conveniente. Esso dipende essenzialmente dalle costanti della valvola neutralizzata e del circuito accordato di griglia. Precisamente (fig. 265), se L_g, C_g, R_g, sono le costanti di tale circuito e r_p è la resistenza di placca, il migliore rapporto di trasformazione, e cioè il miglior numero di spire è:

$$a = \frac{n_g}{n_p} = \sqrt{\frac{L_g}{R_g\, C_g\, r_p}} \qquad (\mu H., \mu F., \Omega)$$

Esso si aggira intorno a 3 ÷ 6, secondo le valvole ed i circuiti. Naturalmente le due bobine devono essere molto strettamente accoppiate. Esse saranno avvolte su cilindri concentrici di cartone bachelizzato sottile, in modo che le spire risultino molto vicine e parallele. Il neutro-condensatore dovrà essere variabile, e sarà regolato, quando occorra, in modo che esso bilanci, il più esattamente possibile, l'effetto della capacità placca-griglia. A questo scopo, dopo avere regolato approssimativamente il n. c. in modo da eliminare l'innesco, si spegnerà la valvola da neutralizzare, allo scopo di togliere il suo effetto amplificatore, e si ecciterà il ricevitore, regolando accuratamente il n. c. fino ad avere una minima ricezione; poi si riaccenderà la valvola così neutralizzata.

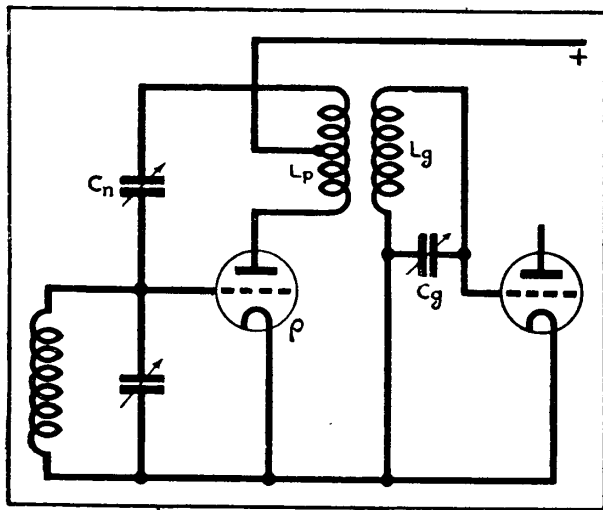



Fig. 265.

Se non si ottiene il minimo, ciò significa che il circuito ha altri difetti di capacità, che occorre eliminare con un accurato esame.

Con il migliore rapporto di trasformazione, l'amplificazione di tensione ottenibile con questi circuiti diventa $\alpha = \frac{\mu}{2}$ a, come nei circuiti a trasformatore con ferro. Usando valvole ad alto fattore di amplificazione, e circuiti che permettano un alto rapporto di trasformazione, si possono ottenere amplificazioni di 30 ÷ 40 volte.

Un modo molto semplice per evitare la autoeccitazione in questi tipi di amplificatori consiste nell' uso delle valvole schermate, nelle quali la capacità placca-griglia è generalmente tanto piccola da non richiedere neutralizzazione. Inoltre in tali valvole la resistenza interna ρ è molto alta, cosicchè il migliore rapporto di trasformazione generalmente risulta vicino all'unità. Ciò significa che non occorre trasformatore, e che il circuito accordato può essere inserito direttamente sul circuito anodico, senza trasformatore, come nella figura 265 (che però si riferisce a triodi, pei quali tale tipo di montaggio non è generalmente indicato, perchè il rapporto migliore differisce di solito dall' unità).

248. - Limiti dell'amplificazione. — Una caratteristica degli amplificatori sia a b. che ad a. f. è la facilità con cui essi producono nei telefoni dei rumori estranei, che facilmente riescono a coprire i segnali da ricevere. Dopo molte amplificazioni tali rumori possono rendere praticamente dannosa l'ulteriore amplificazione. Questi rumori sono dovuti a qualsiasi causa, anche solo interna, che possa produrre delle variazioni di frequenza udibile nella emissione elettronica delle valvole. Tali sono in genere le trepidazioni meccaniche, le quali possono provocare rapide variazioni nella bontà dei contatti nel circuito di accensione, e quindi nella resistenza e nella corrente di accensione, od anche variazioni rapide nella distanza fra placca, griglia e filamento. Se si tien conto del grande potere amplificatore che può ottenersi con una serie di triodi, si può dedurre come bastino variazioni dell'ordine del miliardesimo di ampere nella emissione della prima valvola, per produrre al telefono collegato all'ultima valvola un suono ben udibile. Per il rumore caratteristico che le trepidazioni, attraverso le valvole, producono nei telefoni, il relativo effetto è denominato da taluno suono di campana.

Questo fatto, mentre consiglia di usare negli amplificatori tutti quei dispositivi che possono evitare le trepidazioni od attutirne gli effetti, (sospensioni su gomma elastica, resistenze e capacità in parallelo sulle batterie), limita praticamente a due le amplificazioni che in genere conviene fare a b. f. negli apparati di ricezione già muniti di amplificazione ad a. f., anche perchè in genere la ricezione r. t. è sempre accompagnata da segnali parassiti, che acquistano una forza notevole, se troppo amplificati. Si possono però aumentare molto le amplificazioni a bassa frequenza quando si tratti di segnali udibili privi di parassiti, come ad es. avviene per i segnali degli studi radiofonici, che devono modulare le emissioni radiofoniche di grande potenza.

Per ottenere le massime amplificazioni nella ricezione, specie radiofonica, conviene amplificare i segnali sull' alta frequenza, prima cioè che essi vengano raddrizzati. Con ciò però si ottengono in genere anche notevoli disturbi udibili, generati come si è detto.

Si vedrà in seguito che l' impiego di ricevitori a reazione permette in molti casi di evitare l'amplificazione ad a. f. Questa potrà essere invece ancora necessaria quando i segnali in arrivo siano talmente deboli da non poter essere rettificati dopo una semplice amplificazione a reazione.

249. - Amplificatori di potenza ad audiofrequenza. — Sono amplificatori a resistenza od a trasformatore, che impiegano valvole più potenti di quelle semplici riceventi, e nelle quali la tensione di placca può raggiungere qualche centinaia di volta e la regione rettilinea delle caratteristiche si estende per molte decine di volt negativi di griglia.

Si possono quindi ottenere notevoli potenze senza distorsione (com'è necessario per le frequenze udibili), applicando batterie negative di griglia di alta tensione (anche centinaia di volt). Naturalmente anche le tensioni alternate di griglia che si possono applicare sono molto grandi, e queste determinano delle ampie vaziazioni di tensione e di corrente nella placca. Si possono così ottenere delle potenze alternate sulla placca anche di varie centinaia di watt.

I tipi più potenti di questi amplificatori sono impiegati nella trasmissione radiofonica per amplificare la corrente microfonica che dovrà modulare i trasmettitori radiofonici di grande potenza. I tipi più piccoli sono impiegati nelle varie applicazioni telefoniche con e senza filo e specialmente negli apparati riceventi che usano altoparlanti di potenza (elettrodinamici o analoghi).

250. - Amplificatori di potenza a radiofrequenza. — Sono generalmente amplificatori a risonanza neutralizzati, che impiegano le valvole potenti di trasmissione. Secondo la frequenza cui debbono servire essi presentano caratteristiche un poco diverse, specialmente per le maggiori cure di neutralizzazione e di schermatura che sono necessarie con le altissime frequenze.

Per questi amplificatori non è necessario, come per quelli ad audiofrequenza, evitare ogni distorsione di frequenza. Essi possono quindi impiegare batterie di griglia poco negative o positive, anche se debbono amplificare tensioni alternate di griglia molto elevate. Naturalmente il funzionamento uscirà dalla regione rettilinea delle caratteristiche, e la corrente di placca ne risulterà molto deformata e ricca di armoniche della fondamentale (vedi nr. 71); ma dato che sulla placca (o accoppiato ad essa) vi è un circuito accordato sulla frequenza da amplificare e poco smorzato, la tensione amplificata risulterà ugualmente soddisfacente, perchè il circuito risuonerà fortemente per la fondamentale, e poco o nulla per le armoniche, con le quali è disaccordato.

251. - Confronto tra amplificatore di potenza ad audio e a radiofrequenza. — Per chiarire meglio la ragione per cui si esige completa assenza di distorsione negli amplificatori di audiofrequenza, e si tollerano forti distorsioni in quelli a radiofrequenza, basta considerare che nella audiofrequenza le frequenze da amplificare vanno da 200 a 2000 p./ sec. per la parola, e da 50 a 5000 p./ sec. per la musica. Le frequenze estreme da amplificare nei due casi stanno tra loro nel rapporto da 1 a 10 e da 1 a 100. La più piccola causa di distorsione può perciò facilmente produrre una amplificazione molto diversa per le frequenze estreme: vale a dire che può facilmente avvenire che l'amplificatore amplifichi molto maggiormente ad es. le più basse che non le più alte frequenze, o viceversa.

L' evitare questo difetto riesce effettivamente molto difficile, cosicchè non solo è necessario mantenere il funzionamento della valvola nella regione rettilinea delle caratteristiche, ma altresì studiare speciali accorgimenti nel calcolo e nella costruzione dei trasformatori o nei valori delle costanti dei circuiti, per ottenere l'amplificazione uniforme in tutta la vasta gamma.

Negli amplificatori di radiofrequenza la frequenza da trasmettere è una sola, se si tratta di R.T., od una ristretta gamma intorno alla frequenza portante, se si tratta di R.F. Sarà quindi sufficente accordare i circuiti di placca e di griglia sulla frequenza da trasmettere, e fare questi circuiti di minimo smorzamento, in modo da ridurre la produzione delle armoniche, per ottenere la esatta riproduzione della frequenza fondamentale che sola interessa.

Ad es. una emissione radiofonica su onda di 400 metri comprende nel caso di emissioni musicali le frequenze da 750.000 − 5000 = 745.000 a 750.000 + 5000 = 755.000. Le frequenze estreme della gamma stanno quindi tra loro come 745 a 755, cioè come 100 a 101,2. Per le onde più corte la differenza sarebbe anche minore. Non è quindi possibile che possano sorgere gravi diversità di amplificazione per frequenze così poco diverse, mentre è evidentemente molto più facile che tali diversità possano sorgere tra le frequenze estreme acustiche che modulano la emissione ora considerata, essendo esse comprese tra 50 e 5000 che sono nel rapporto 1 a 100, anzichè nel rapporto 100 a 101.

CAPITOLO XV.

La ricezione radio - Il ricevitore r. t.

252. - GENERALITÀ. — Scopo della rivelazione è di rendere percettibile ai sensi dell'uomo le correnti oscillanti debolissime create in un aereo ricevente dalle onde e. m. che vi incidono e che provengono da un trasmettitore r. t. Si vedrà più avanti in che modo un'onda e. m. può generare una c. o. in un circuito d'aereo; è necessario ora premettere alcune considerazioni generiche sulla ricezione. Normalmente questa è ad udito, per modo che l'apparecchio per mezzo del quale i segnali sono resi accessibili all'uomo è il *telefono*.

253. - TELEFONO - SUO FUNZIONAMENTO. — Un telefono ricevitore è costituito essenzialmente da un elettromagnete e da un diaframma o lamina vibrante, contenuti in una custodia. La lamina è un disco di lamiera molto sottile di ferro dolce, trattenuta sul suo bordo dalla parte esterna della custodia, e mantenuta per mezzo di un coperchio a vite molto vicina all'elettromagnete, senza però toccarlo. Il coperchio è isolante ed è opportunamente sagomato in modo da adattarsi all'orecchio e da proteggere la lamina vibrante. La fig. 266 mostra schematicamente la sezione di un telefono: A è il nucleo dell'elettromagnete, B l'avvolgimento dello stesso, C la custodia, e D la lamina vibrante; la linea punteggiata rappresenta il coperchio o padiglione. Contrariamente ai comuni elettromagneti, il nucleo di quello del telefono è di acciaio, ed è quindi magnetizzato permanentemente; la laminetta normalmente rimane leggermente piegata verso gli elettromagneti, come mostra la linea piena segnata D nella figura, per effetto dell'attrazione del nucleo.

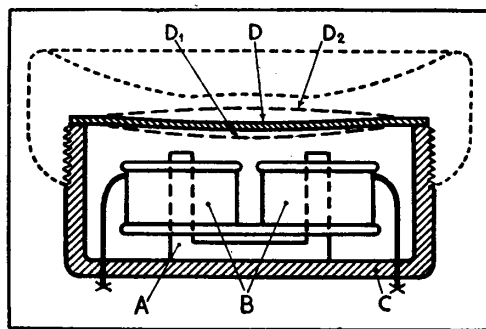



Fig. 266.

Allo scopo di aumentare la sensibilità, in alcuni telefoni si può regolare la distanza dell'elettrocalamita dalla laminetta; a tal uopo il fondo della custodia

porta un foro filettato, in cui è impegnata una vite che sopporta la calamita, e che può avvitarsi più o meno dall'esterno, manovrando sulla testa zigrinata.

I capi dell'avvolgimento si collegano a due bolloncini che traversano, entro fori isolati, il fondo della custodia, ed ai quali si può attaccare la linea esterna. Di solito in radiotelegrafia si adoperano due telefoni, disposti con gli avvolgimenti in serie, portati da archetti elastici di acciaio, formando la così detta *cuffia telefonica,* che si può indossare senza fastidio, e che lascia libere le mani dell'operatore, pur mantenendo i telefoni aderenti alle orecchie.

Il funzionamento del telefono ricevitore è il seguente. Se una corrente percorre le bobine in modo da produrre un campo concordante con quello del nucleo, la forza attrattiva di questo risulta aumentata, e la laminetta viene attirata verso il magnete, come indica la linea punteggiata D_1. Se al contrario la corrente percorre le bobine in senso contrario, in modo cioè da produrre un campo opposto a quello del magnete, la forza di questo resta diminuita, ed il diaframma può distendersi e allontanarsi dai poli, prendendo quindi la posizione segnata dalla linea punteggiata D_2.

L'effetto di questi movimenti alternativi della lamina è uno spostamento alternativo dell'aria adiacente, il quale si propaga a distanza generando un'onda sonora o *suono,* più o meno forte e più o meno acuto.

Il suono sarà più o meno acuto, secondo la frequenza della corrente; e sarà più forte, se le vibrazioni della lamina saranno più energiche. A questo scopo è evidentemente necessario che la corrente che percorre il telefono non solo abbia la maggiore intensità possibile, ma che sia alternata, e di frequenza udibile: se fosse continua, si avrebbe una attrazione della lamina, ma questa non vibrerebbe, e non potrebbe produrre un suono.

Anche il magnetismo permanente del nucleo della elettrocalamita ha influenza sulla sensibilità del telefono. L'attrazione che risente la laminetta è infatti proporzionale al quadrato del numero dalle linee di forza che passano dalla calamita alla lamina. Se ad es.: il flusso iniziale è di 10 linee di forza per cm^2, e se la corrente che percorre l'avvolgimento nel primo semiperiodo aumenta tale flusso di due linee di forza per cm^2, l'attrazione che risente la lamina per effetto della corrente è proporzionale a $12^2 - 10^2 = 44$. Se invece il flusso iniziale fosse di 100 linee, cioè 10 volte maggiore di prima, e la corrente lo aumentasse come precedentemente di due linee, l'attrazione sarebbe proporzionale a $102^2 - 100^2 = 404$, e cioè quasi 10 volte più grande di prima. Conviene dunque aumentare più che possibile la magnetizzazione permanente del nucleo, poichè con esso aumenta in proporzione la sensibilità del telefono alle piccole correnti che lo percorrono.

Nella costruzione del telefono si cerca inoltre di evitare che il diaframma abbia un proprio spiccato periodo di vibrazione, per modo che esso segua fedelmente tutte le variazioni della corrente che percorre il telefono, qualunque ne

sia la frequenza. E perciò, ad es.: una corrente alternata a mille periodi farà vibrare la lamina con mille oscillazioni al secondo, e darà un suono di tonalità 1000, corrispondente a tale frequenza.

254. - RIVELAZIONE DELLE OSCILLAZIONI R. T. — Dalla fisica è noto che l'orecchio umano non può percepire suoni di cui la frequenza di vibrazioni sia inferiore ad un dato limite: circa 30 al secondo; o superiore ad un altro limite, circa 13.000 al secondo. Una corrente alternata di frequenza superiore a questo valore non sarebbe perciò rivelata dal telefono. E poichè le oscillazioni r. t. hanno frequenze molto superiori a tale limite, così la loro rivelazione non può esser fatta direttamente dal telefono; ed occorre perciò trasformarle in modo che la successione delle attrazioni e degli abbandoni della laminetta del telefono avvenga a frequenza udibile. Per le onde smorzate si trae profitto del fatto che per ogni scintilla si genera un treno d'onda, e che fra un treno d'onda ed il successivo vi è un periodo di riposo. Basta allora, mediante un cimoscopio o rivelatore (nr. 93), raddrizzare le oscillazioni dell'aereo ricevente (nr. 252), in modo che ciascun treno di oscillazioni dia luogo ad un impulso complessivo di corrente, il quale a sua volta determina una attrazione della laminetta, che cessa quando il treno d'onda è esaurito. Le vibrazioni della laminetta corrispondono così ai treni d'onda, e cioè alle scintille della trasmissione; il suono emesso dal telefono è quindi identico a quello provocato dalla successione delle scintille di trasmissione (nr. 215).

Anche nel caso delle emissioni radiofoniche è sufficiente la semplice rivelazione, perchè con essa viene liberata la frequenza udibile che modulava la emissione di alta frequenza, e la corrente udibile che percorre il telefono riproduce così il suono trasmesso.

Questo semplice procedimento di rivelazione non è più sufficiente per le onde persistenti, perchè in esse l'emissione delle onde non è frazionata in treni, che diano successive attrazioni ed abbandoni della laminetta, cioè che la facciano vibrare con frequenza udibile, nè tale emissione è modulata con frequenza udibile come nella radiofonia. Perciò fin che durerà l'emissione delle onde persistenti, la corrente relativa, se semplicemente raddrizzata, determinerà una attrazione persistente della laminetta, la quale, non vibrando, non emetterà alcun suono udibile (1). Per la ricezione di tali onde occorre quindi trovare il modo di frazionare la corrente, o di modularla. per renderla atta a determinare vibrazioni della laminetta che abbiano una frequenza udibile. Ciò si vedrà più particolarmente in seguito.

---

(1) Effettivamente la lamina è in tal caso soggetta alle leggerissime trepidazioni dovute alla successione delle piccole correnti raddrizzate corrispondenti alle successive alternazioni della corrente oscillante; ma queste, succedendosi a frequenza ultraudibile, non sono percepite: agli effetti dell'udito tutto avviene come se la laminetta fosse permanentemente attratta e ferma.

255. - FORZA MAGNETO-MOTRICE DEI TELEFONI. — Riprendendo ora quanto si disse al nr. 253 circa la forza attrattiva dell'elettro-calamita, si deve ricordare che per avere una ampia variazione in tale forza, occorre che essa forza sia grande. Ora lo studio di questi fenomeni ha assodato che la forza di attrazione del nucleo del telefono, come in generale di tutti gli elettro-magneti, dipende dal prodotto del numero delle spire che compongono l'avvolgimento, per l' intensità della corrente che circola in esso. Questo prodotto è detto forza magneto motrice dell'elettro-calamita, e si esprime in amperspire, cioè con il prodotto del numero di ampere per il numero di spire. Quanto più grande è la forza magneto-motrice (f. m. m.), cioè il numero di amperspire, tanto maggiore sarà la attrazione del nucleo.

È necessario quindi esaminare come si possa ottenere nei telefoni ricevitori una intensa f. m. m.

256. - RESISTENZA DEI TELEFONI. — Negli apparecchi ricevitori il telefono è unito in serie, come già detto, col rivelatore d'onda o con un amplificatore. La corrente che percorre il telefono è quindi quella stessa che attraversa il cimoscopio o l'amplificatore, e dipende, come si vedrà, dalla d. d. p. esistente alle armature del condensatore da cui il circuito è derivato, se si tratta di un ricevitore a cristallo, o dalla d. d. p. esistente tra griglia e filamento della valvola amplificatrice, se esiste quest'ultima. In ogni caso, la corrente nel telefono dipende dalla resistenza complessiva del telefono e del cimoscopio (cristallo o valvola). Tale corrente sarà più grande se la resistenza complessiva sarà piccola; sarà più piccola nel caso contrario. Occorre quindi esaminare come vi influisca la resistenza del telefono.

Il telefono ha delle dimensioni necessariamente limitate, affinchè sia leggero e maneggevole: quindi anche lo spazio disponibile per l'avvolgimento dello elettro-magnete è limitato; e perciò se il filo è fino, si potrà fare l'avvolgimento di molte spire; se è grosso il numero delle spire sarà più piccolo. Ora, quando il filo è grosso, la sua resistenza elettrica è piccola, quindi la corrente è intensa, ma è piccolo il numero di spire. Quando il filo è fino, il numero di spire è grande, ma la resistenza pure è grande e quindi la corrente è piccola. Si tratta quindi di vedere quale sia il diametro del filo più conveniente per avere il massimo numero di amperspire.

Per questo occorre tenere presente che, variando il diametro del filo, la sua resistenza elettrica varia molto più rapidamente di quello che non varî il numero delle spire. Per esempio, se con un filo di dato diametro si ha un certo numero di spire, e quindi una certa resistenza, sostituendolo con un filo di diametro metà, il numero delle spire di ogni strato diventa doppio, e il numero degli strati diventa pure doppio, quindi il numero totale delle spire diventa quadruplo; naturalmente anche la lunghezza del filo resta quadruplicata; e poichè l'area della sua sezione si è ridotta a un quarto, così in complesso la resistenza dell'avvolgimento (nr. 21), diventa 16 volte quella di prima.

Segue da ciò che, se nel circuito del rivelatore vi fosse il solo telefono, non converrebbe diminuire il diametro del filo, perchè è vero che ciò facendo il numero delle spire aumenterebbe, ma la resistenza aumenterebbe molto di più, cioè la corrente diminuirebbe di più di quello che non aumenti il numero delle spire: il numero di amperspire ne verrebbe quindi diminuito. Sta però il fatto che nel circuito c'è anche il rivelatore, il quale può presentare una resistenza molto forte. Supposto che tale resistenza sia realmente molto forte, si immagini di fare varie volte l'avvolgimento del telefono impiegando fili sempre più sottili. Finchè le spire saranno poche e grosse, la resistenza del telefono sarà così piccola che in confronto a quella del rivelatore sarà trascurabile. Si potrà perciò diminuire abbastanza il diametro del filo ed aumentarne la lunghezza, senza che la corrente diminuisca sensibilmente, perchè su di essa influisce principalmente la resistenza preponderante del cimoscopio: fino a questo punto perciò, più si aumenta il numero delle spire (la corrente restando press'a poco la stessa) e più aumenta il numero degli amperspire. Continuando però ad aumentare il numero delle spire (e quindi diminuendo il diametro del filo), la resistenza comincerà rapidamente a salire, e quindi ad influire dannosamente sulla corrente: quando essa superasse quella del rivelatore e si continuasse ad aumentare le spire, si ricadrebbe nel primo caso considerato, perchè sulla corrente influirebbe in modo preponderante la resistenza dell' avvolgimento ed il numero delle sue spire, le quali come già si disse, aumentando, farebbero diminuire la corrente in misura maggiore di quel che non aumenti il numero delle spire, cosicchè il numero degli amperspire ne sarebbe diminuito.

Si può concludere dicendo che, finchè nel circuito rivelatore prevale la resistenza del cimoscopio, si ha convenienza ad aumentare il numero delle spire, diminuendo il diametro del filo; quando invece prevale la resistenza dell'avvolgimento, vi è convenienza a diminuire il numero delle spire, aumentandone il diametro. Di conseguenza quando non prevale, nè la resistenza dell'avvolgimento, nè quella del cimoscopio, cioè se le due resistenze sono quasi uguali, non vi è convenienza nè a diminuire nè ad aumentare il numero delle spire; ciò vuol dire che si è raggiunto in tal caso il numero più conveniente delle spire e il diametro più conveniente di filo. Questo ragionamento è un caso particolare di un ragionamento più generale, che porta a considerare l'eguaglianza delle resistenze fra circuiti utilizzatori e circuiti generatori come la condizione più favorevole per la buona utilizzazione dei circuiti stessi. Esso è confermato dalla pratica e dalla teoria, le quali hanno appunto assodato che il miglior numero di spire (o il miglior diametro del filo) è quello per il quale la *resistenza dell'avvolgimento del telefono è uguale a quella del rivelatore e degli elementi ad esso eventualmente uniti*, e cioè alla resistenza della rimanente parte del circuito.

Si può illustrare questo ragionamento col seguente esempio numerico.

Supposto che con un certo diametro di filo si abbia nel telefono una resistenza di 10 ohm con 100 spire, che si usi un rivelatore di 810 ohm di resistenza totale applicata, e

che la d. d. p. sia 1 volta, la corrente sarà $\frac{1 \text{ volta}}{(810 + 10) \text{ ohm}} = {}^1/_{820}$ ampere, e la f. m. m. sarà 100 spire × $^1/_{820}$ ampere = 1/8,20 amperspire = 0,122 amperspire.

Supposto ora che si usi un filo di diametro $^1/_3$ del precedente, si potrà fare un avvolgimento con un numero triplo di spire su tre strati; quindi in tutto un numero 9 volte più grande di spire, cioè 900 spire. La lunghezza del filo sarà pure 9 volte tanto e, poichè l' area della sua sezione sarà $^1/_9$ della precedente, la sua resistenza sarà diventata 9 × 9 = 81 volte più grande, cioé 810 ohm. La corrente sarà $\frac{1 \text{ volta}}{(810 + 810) \text{ ohm}} = {}^1/_{1620}$ ampere; la f. m. m. sarà $^1/_{1620}$ ampere × 900 spire = $^{900}/_{1620}$ amperspire = 0,555 amperspire, cioè circa 4,6 volte maggiore della precedente. Supposto ora che si diminuisca ancora il filo, facendolo di diametro $^1/_{10}$ del primo, allora il numero di spire diventa 10 × 10 = 100 volte maggiore, cioè 100 × 100 = 10.000 spire; la lunghezza del filo diventa pure 100 volte maggiore e la sua area 100 volte minore, quindi la resistenza diventa 100 × 100 = 10.000 volte maggiore, cioè 100.000 ohm. La corrente sarà $\frac{1 \text{ volta}}{(810 + 100.000) \text{ ohm}} = \frac{1}{100.810}$ ampere; quindi la f. m. m. sarà $\frac{1 \text{ ampere}}{100.810} \times 10.000 \text{ spire} = \frac{1}{10,081} = 0.099$ amperspire, cioè meno di $^1/_5$ del valore che aveva nel secondo caso.

Riassumendo il calcolo, si può dire che la forza magneto-motrice del telefono è 0,120 amperspire con l'avvolgimento di 10 ohm e 100 spire; é 0,555 amperspire con l'avvolgimento di 810 ohm e 810 spire; è 0,099 amperspire con l'avvolgimento di 100.000 ohm e 10.000 spire. La massima f. m. m. si ha dunque con l'avvolgimento di 810 ohm, cioè di resistenza uguale a quella del rivelatore. Se il cimoscopio usato avesse avuto una resistenza di 8000 ohm, si sarebbe trovato il valore massimo di amperspire con un avvolgimento pure di 8000 ohm. I rivelatori soliti offrono una resistenza dell'ordine di 10.000 ohm.; le cuffie telefoniche più convenienti sarebbero quindi quelle che hanno circa 5000 ohm per telefono, cioè 10.000 in totale. Si deve però considerare che le correnti telefoniche sono alternate, e quindi il calcolo esatto deve tener conto della reattanza dell' avvolgimento, oltrechè della resistenza. Ciò altera alquanto i valori numerici dei risultati; le cuffie più adatte hanno perciò soltanto una resistenza di circa 2000 ohm per telefono. Gli avvolgimenti sono fatti con filo finissimo, ricoperto di uno strato pure finissimo di seta o di smalto, di pochi centesimi di millimetro di diametro.

Se il rivelatore fosse a bassa resistenza, si dovrebbe usare, per lo stesso motivo, un telefono a bassa resistenza, press' a poco uguale a quella del rimanente circuito.

257. - ALTOPARLANTI. — Nei più potenti apparecchi a valvola, si può sostituire la cuffia telefonica con un altoparlante. Esistono vari tipi di questi apparati. Uno dei più comuni consiste in un padiglione telefonico, analogo a quello indicato alla fig. 266, chiuso con un coperchio che forma camera d'aria vibrante, e che porta l' imboccatura per una tromba di amplificazione (fig. 267). La tromba può avere diverse forme (fig. 268); può esser oppur no di metallo; in taluni tipi di altoparlanti (detti più propriamente diffusori), non esiste tromba, ma il diaframma del telefono è collegato ad una membrana di stoffa (in genere di seta pieghettata), o di carta forte, che fa le veci del diaframma e che, per la maggiore superfice, è meglio adatta allo scopo di diffondere il suono (fig. 269). La dispo-

sizione della parte elettrica di un altoparlante è come quella di un telefono, con la differenza che l'elettrocalamita è di maggiori dimensioni, data la maggior intensità di corrente che la deve percorrere; e che è pure di maggiori dimensioni la lamina vibrante, per modo che il volume d'aria messo in vibrazione sia notevole. In genere la distanza fra l'elettrocalamita e la lamina è regolabile mediante un bottone zigrinato che comanda una vite di spostamento (fig. 267).

Fig. 267.

Gli altoparlanti hanno in generale il difetto di distorcere, e cioè di deformare il suono, poichè nell'altoparlante, sia per la dimensione della lamina vibrante, sia per la presenza della tromba, che ha delle risonanze speciali, vengono depresse alcune tonalità ed esaltate altre, esagerandosi un difetto che esiste anche nel telefono normale. Si sono escogitati vari sistemi per eliminare tale distorsione; ad es.: le trombe a riflessione ed a conchiglia; oppure la co-

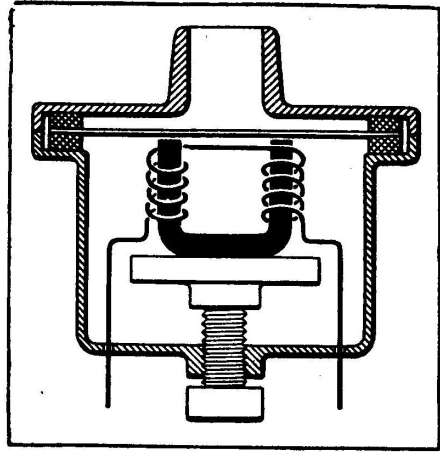



Fig. 268.

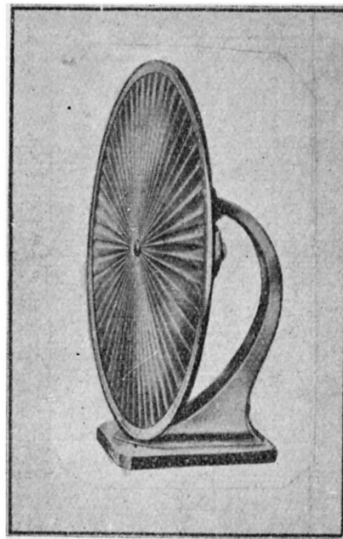



Fig. 269.

struzione e la disposizione particolare della lamina vibrante e dell'elettrocalamita.

Per ottenere un maggior volume di voce si ricorre agli altoparlanti a bobina mobile, od elettrodinamici, di forme molto diverse, ma tutti costituiti (fig. 270) da un forte campo magnetico eccitato con corrente continua in un intraferro molto sottile, nel quale è disposta una bobina percorsa dalla corrente telefonica. Sotto l'azione di questa corrente la bobina si sposta per azione elettrodinamica fra la corrente stessa ed il campo magnetico. La bobina dev'essere leggerissima e viene unita al diaframma, il quale può essere quindi di materiale non magnetico; inoltre è sempre di bassissima resistenza (pochi ohm); per modo che la corrente che vi circola può essere molto intensa. L'altoparlante va perciò collegato al ricevitore con l'intermezzo di un trasformatore, di cui il primario, con molte spire e ad alta resistenza (4000 ÷ 6000 ohm), è connesso al ricevitore, ed il secondario, di poche spire e di pochi ohm, è collegato alla bobina mobile.

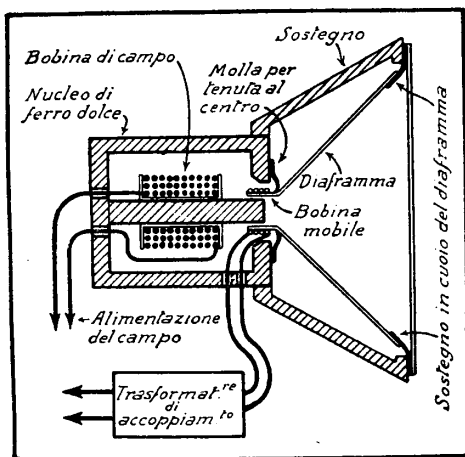



Fig. 270.

258. - CIRCUITI DI RICEZIONE. — Sono i circuiti, nei quali, per effetto delle onde in arrivo, si generano le correnti oscillanti che vengono poi percepite a mezzo del rivelatore e del telefono. Il complesso di queste tre parti: circuito d'ingresso, rivelatore (ed eventualmente amplificatore ad esso unito), telefono, costituisce il ricevitore o l'apparecchio di ricezione. Talvolta il circuito d'ingresso è separato dal rimanente e dà luogo ad un apparecchio a sè, che prende il nome di sintonizzatore o cassetta di sintonia; il rimanente costituisce il ricevitore.

Nel sintonizzatore si può comprendere il solo aereo ricevente, sul quale sono inseriti gli elementi per sintonizzare (capacità e induttanza variabile), ed in tal caso la ricezione dicesi *diretta*; oppure comprende l'aereo con i suddetti elementi sintonizzatori ed un circuito oscillante secondario accoppiato all'aereo stesso, ed in tal caso la ricezione dicesi a circuiti accoppiati od *indiretta*.

259. - IL FENOMENO DELLA RICEZIONE R. T. — L'aereo ricevente, che fa parte di qualsiasi circuito ricevitore, è il raccoglitore delle onde. Più precisamente le onde e. m. in arrivo agiscono sull'aereo, generandovi una corrente oscillante, avente la stessa frequenza delle onde. È da notare che su tutti i conduttori incontrati dalle onde nel loro cammino si generano delle correnti oscillanti aventi la frequenza uguale a quella delle onde; però, nella maggior parte di essi, tali correnti hanno intensità estremamente piccola, mentre sull'aereo,

quando venga accordato sulle onde in arrivo, tale intensità può essere relativamente molto grande.

Si ha, anche in questo caso, una specie di *fenomeno di accoppiamento* (naturalmente molto debole), fra l'aereo trasmittente e quello ricevente, i quali costituiscono due circuiti oscillanti aperti. Per effetto di tale accoppiamento la corrente che si determina nel circuito risonatore, che in questo caso è l'aereo ricevente, sarà tanto più intensa quanto più la sua frequenza sarà poco diversa da quella del circuito eccitatore, che in questo caso è l'aereo trasmittente. Il massimo di corrente sull'aereo ricevente si avrà perciò quando la sua frequenza sarà eguale a quella dell'aereo trasmittente.

Il compito delle onde elettromagnetiche è dunque quello di *trasportare a distanza il campo elettromagnetico* che si genera dall'aereo trasmittente.

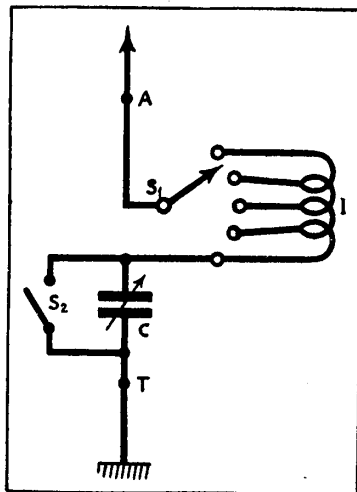
Anche operando a piccola distanza, la corrente che si può ottenere sul circuito ricevente, sia pure questo bene accordato, è sempre estremamente piccola, e quindi per rivelarla occorrono apparecchi molto sensibili, quali sono appunto i cimoscopi ed il telefono.

260. - CIRCUITO D'AEREO. — L'aereo ricevente può essere costituito da un sistema di fili distesi ed isolati nello spazio, analogamente all'aereo trasmittente. Di solito si usa un aereo unico, che viene collegato a mezzo di commutatore alla parte trasmittente od a quella ricevente, a seconda il bisogno. Si possono però adoperare anche altri tipi di aerei riceventi; ad es.: gli aerei a telaio, detti anche chiusi o radiogoniometrici.

Fig. 271.

L'aereo, quando è del tipo ad antenna, viene collegato a terra attraverso gli elementi variabili di sintonizzazione, e cioè capacità ed induttanza, il cui scopo è di permettere di variarne la frequenza (o la lunghezza d'onda), per renderla eguale a quella dell'aereo trasmittente.

Nella fig. 271 è dato uno schema di circuito d'aereo con induttanza e capacità variabili. A e T sono i serrafili dell'aereo e della terra; I è l'induttanza variabile che può essere, in parte più o meno grande, inserita nel circuito, a mezzo della manetta S_1; C è la capacità variabile, con una manetta S_2 per il corto circuito. L'induttanza I prende il nome di *induttanza variabile d'aereo,* e la capacità C quello di *capacità variabile d'aereo.*

Nella posizione della figura è inserita tutta l'induttanza (manetta S_1 al bottone superiore); se si chiude la manetta S_2, il condensatore viene cortocircuitato, e l'aereo è pronto per l'onda più lunga.

Spostando la manetta S_1 man mano ai bottoni inferiori, si riduce la lunghezza d'onda: quando arriverà al bottone più basso, non essendovi più induttanza inserita, ed essendo il condensatore in corto, si avrà sull'aereo l'onda fondamentale. Volendo onde più corte della fondamentale, si lascerà la manetta S_1 in basso, si aprirà la manetta S_2 per togliere il corto circuito al condensatore, e si inserirà della capacità, tanto più piccola quanto più corta è l'onda da ricevere, fino a raggiungere il valore metà della fondamentale.

Con questo dispositivo si può ottenere la risonanza dell'aereo con l'onda da ricevere, e quindi la massima corrente in esso, e di conseguenza la massima d. d. p. agli estremi dell'induttanza o del condensatore aggiunto. Questo dispositivo dicesi con aereo accordato in serie. Sono anche usati circuiti di aereo accordati in parallelo come quello della fig. 272, nei quali è inserito sull'aereo un circuito oscillante chiuso che si accorda sull'onda da ricevere, in modo che esso diventa sede di una corrente intensa, e quindi di una forte d. d. p. agli estremi A e B della induttanza e della capacità.

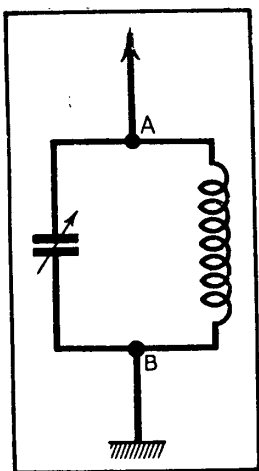



Fig. 272.

261. - INSERZIONE DEL RIVELATORE SULL'AEREO. — Il rivelatore non si può inserire su un circuito oscillante, perchè, come si vedrà, ne accrescerebbe di troppo lo smorzamento; è necessario invece derivarlo fra due punti che presentino la massima d. d. p. Nel caso della ricezione diretta, si può derivare il rivelatore sia ai morsetti del condensatore variabile d'aereo, che a quelli dell' induttanza variabile d'aereo, perchè in entrambi i casi fra i morsetti relativi si ha sempre una d. d. p., dovuta alla corrente oscillante che percorre l'aereo, e che è massima quando esso è accordato. Però tale disposizione è sempre poco conveniente, poichè tanto l' induttanza variabile d'aereo, quanto la capacità variabile d'aereo, sono solo una parte della induttanza e della capacità totale, e quindi anche la d. d. p. che esiste ai loro estremi è una parte della d. d. p. totale. Di più, tanto l'una che l'altra si riducono talvolta a zero, per accordare l'aereo con le onde più lunghe o più corte della fondamentale; quindi in tali casi la d. d. p. che agisce sul circuito rivelatore sarebbe zero. L'applicazione del rivelatore nella ricezione diretta si può fare convenientemente quando si tratta di ricevere sempre e soltanto onde molto più lunghe o molto più corte della fondamentale, e vi è perciò sull'aereo una induttanza molto grande e fissa, oppure una capacità molto piccola e pure fissa. Su di esse si può allora derivare il circuito rivelatore.

Un ricevitore diretto sull'aereo è rappresentato nella fig. 273, e costituisce il tipo più semplice del genere. Il circuito del rivelatore è derivato agli estremi della induttanza d'aereo I: esso è costituito dal rivelatore R, in serie col telefono. Tale tipo serve solo per onde più lunghe della fondamentale. Se si vuol usare

per onde più corte, occorre sostituire l'induttanza I con un condensatore. Nel caso dell'aereo accordato in parallelo (fig. 272) si può derivare il rivelatore fra i punti A e B, e questo dispositivo può essere comodo in molti casi, per quanto meno selettivo di quello a due circuiti.

Fig. 273.

262. - RICEVITORE A DUE CIRCUITI. — Per ottenere una buona sensibilità, il rivelatore ed il telefono si derivano su un circuito secondario chiuso. Questo circuito chiuso, accoppiato con l'aereo, deve essere accordato con esso, affinchè la corrente oscillante d'aereo vi produca per risonanza il massimo effetto: si ha quindi un ricevitore a due circuiti, uno *primario,* o di *aereo,* e l'altro *secondario,* o *circuito oscillante chiuso,* i quali devono essere entrambi accordati con le onde che si ricevono. Al circuito primario (d'aereo) vengono mantenute l'induttanza variabile e la capacità variabile, per poterlo mettere in accordo con l'onda ricevuta; ad esse si aggiunge spesso una spirale per l'accoppiamento con il circuito secondario, la quale costituisce il *primario del jigger di ricezione;* accoppiata a questa si dispone la spirale secondaria (secondario del jigger), che costituisce l'induttanza del circuito chiuso, e che ha in serie un condensatore variabile per completare il circuito oscillante. Sul condensatore si deriva il circuito del rivelatore.

Fig. 274.

La fig. 274 dà lo schema di un ricevitore a due circuiti. Sull'aereo, oltre la induttanza e la capacità, vi è una spirale P accoppiata a quella S del circuito secondario, sulla quale ultima è derivato il condensatore C_1. Il circuito rivelatore (comprendente il rivelatore R e la cuffia) è poi derivato agli estremi di C_1.

Molto spesso l'induttanza variabile d'aereo ed il primario del jigger sono uniti in un unico avvolgimento. Invece di induttanza variabile, sia sul primario che sul secondario, si può adottare un'induttanza sostituibile, del tipo di quelle descritte al nr. 65.

Generalmente poi il grado di accoppiamento fra i due circuiti si può variare facendo rotare la spirale P intorno ad un asse perpendicolare a quello XY della

spirale secondaria, se le induttanze sono della forma cilindrica, oppure allontanando una bobina dall'altra, sia con movimento rettilineo che con movimento circolare. Il ridurre l'accoppiamento può essere utile per diminuire l'influenza del circuito d'aereo sul secondario, nel caso che vi siano segnalazioni che disturbino la ricezione, come si vedrà meglio in seguito.

263. - PROPORZIONE TRA CAPACITÀ ED INDUTTANZA NEL CIRCUITO SECONDARIO. — Dalle caratteristiche dei rivelatori, di cui si parlerà più avanti, si può rilevare che per avere la massima corrente rivelata è necessario applicare al rivelatore la maggiore possibile tensione, e cioè agli estremi del condensatore (e quindi dell' induttanza) del circuito secondario deve aversi la massima d. d. p. compatibile con l'energia che dall'aereo arriva al circuito secondario. Ciò si ottiene riducendo al minimo la capacità del circuito in confronto alla sua induttanza.

Infatti l'energia che oscilla nel secondario è quella stessa che gli proviene dall'aereo o dall'amplificatore ad a. f.; di più detta energia passa, alternativamente (nr. 95), dal condensatore (energia elettrica) all' induttanza (energia magnetica), ed è misurata, nella prima forma, dal prodotto della capacità del condensatore per il quadrato della d. d. p. tra le sue armature (nr. 46); a parità di energia, se la capacità è piccola, la d. d. p. tra le armature è grande e viceversa.

Si ha poi un altro vantaggio con questa prevalenza di induttanza. Infatti si è detto al nr. 112 che l'induttanza, come l' inerzia, diminuisce lo smorzamento delle oscillazioni, cioè aumenta la selettività del circuito, e favorisce la riduzione dei disturbi e delle interferenze. Perchè il ragionamento sia esatto, è necessario però che l' induttanza non introduca per suo conto delle cause di perdita, le quali annullino i vantaggi citati. Conviene dunque usare, per quanto possibile, piccoli condensatori a piccole perdite, e induttanze elevate, anche queste a piccole perdite, onde ridurre lo smorzamento, e aumentare la d. d. p. applicata al rivelatore. La capacità del condensatore variabile di accordo sarà quindi la più piccola possibile, compatibilmente con la gamma d'onda per cui deve essere sintonizzato il circuito.

264. - SINTONIZZAZIONE DEL RICEVITORE. — *Sintonizzare un ricevitore* significa metterlo nelle migliori condizioni per ricevere le onde di una data lunghezza. Si tratta in genere di accordare i circuiti oscillanti sull'onda da ricevere, di ricercare i migliori valori degli accoppiamenti, di regolare i potenziometri, le accensioni, ecc.

L'accordo è ottenuto quando si sente con la massima forza e purezza, e quando qualunque variazione nelle caratteristiche che lo consentono produce una diminuzione nella forza o nella purezza dei segnali.

Di solito il ricevitore è munito di una tabella, la quale, per i valori delle varie capacità di regolazione, dà le lunghezze d'onda corrispondenti. In questo caso, si dispongono le capacità o le induttanze dei circuiti sulle posizioni indi-

cate della tabella, e quindi si apportano delle piccole variazioni intorno a tali valori, per trovare la posizione ottima.

Se si vuol predisporre il ricevitore per una determinata onda, si può trasmettere in prossimità di esso con un ondametro a cicala (1), regolato in modo da emettere quell'onda; la sintonizzazione si fa così più facilmente, data la forza e la costanza del segnale da ricevere.

265. - CAMPO D'ONDA DEI RICEVITORI. — In genere il campo d'onda dei ricevitori è molto ampio, ed esso è diviso in varie gamme, che si possono scambiare con un commutatore, il quale include diverse sezioni delle bobine di induttanza. Le gamme si possono anche ottenere con bobine cambiabili, corrispondenti ai vari campi d'onda.

In generale si fa in modo che ci sia accavallamento delle varie gamme. cioè che le onde più alte del gruppo delle onde corte coincidano con quelle più basse del gruppo delle medie; e quelle più alte di questo con le più basse delle lunghe; così non c'è soluzione di continuità in tutto il campo del ricevitore.

266. - DISTURBI ATMOSFERICI. — Sono dovuti alle perturbazioni elettriche e magnetiche dell'atmosfera e della superficie terrestre, le quali influenzano gli apparecchi ricevitori come se fossero segnalazioni r. t., producendo nel telefono dei rumori molto irregolari, e talvolta così forti da coprire completamente le segnalazioni che si vogliono ricevere. Con piccoli aerei, e specialmente con telai, e per piccole lunghezze d'onda, i disturbi non sono di solito molto gravi; ma nelle grandi stazioni, con aerei ampi, e ricevendo su onde molto lunghe, essi sono spesso così forti che senza l'impiego di dispositivi speciali ne sarebbero intralciate le comunicazioni per dei giorni interi. La difficoltà di liberarsi dai disturbi dipende dal fatto che essi non hanno una lunghezza d'onda ben determinata, ma hanno un carattere aperiodico o impulsivo, e mettono in oscillazione l'aereo su qualunque lunghezza d'onda esso si trovi, facendo assumere all'oscillazione precisamente la lunghezza d'onda per la quale l'aereo è preparato (2): gli apparecchi rivelatori sono quindi sempre influenzati da essi. Per liberarsi dai disturbi, detti anche *scariche* o *intrusi,* si sono escogitati varî rimedi, i quali in genere sono molto complicati, e non molto efficienti. Tra i più comuni si possono citare i circuiti di piccolo decremento, sintonizzati sull'onda da ricevere, e debolmente accoppiati. Uno dei rimedi più efficaci è dato dalla tonalità musicale della ricezione. Una emissione telegrafica fatta su nota molto pura e musicale, quale si ottiene con le stazioni a scintilla musicale o con i più moderni apparati a valvola, a onda

---

(1) Per l'ondametro vedi nr. 342 e seg.

(2) Essi agiscono come fanno i colpi di bacchetta su un tamburo. La membrana viene messa in vibrazione ad ogni colpo, e vibra col suo periodo.

molto stabile, può essere facilmente seguita nel telefono da un esperto radiotelegrafista, anche se vi sono scariche, poichè queste producono sempre dei rumori aspri ed irregolari, e quindi difficilmente confondibili con le segnalazioni musicali.

Si sfrutta in tal modo la proprietà selettiva dell' orecchio umano, che può facilmente seguire un segnale di tonalità pura in mezzo ad altri, anche di forza considerevole, purchè di natura differente.

Capitolo XVI.

La selettività nella ricezione radio.

267. - Influenza dello smorzamento sulla selettività nella ricezione. — È di molto interesse per il servizio r. t. che le onde emesse da una stazione trasmittente, e destinate ad una determinata stazione ricevente, non disturbino le altre stazioni, cui non sono destinate. Ora quando una stazione vuole ricevere, deve accordare i circuiti sull'onda che arriva, giacchè se essa non è ben accordata, i segnali sono più deboli. Ne segue che se alle stazioni che trasmettono si fanno usare lunghezze di onda diverse, ciascuna stazione ricevente, accordandosi sulla propria trasmittente, risulta disaccordata con le altre, quindi non le sente, o le sente molto meno, e può seguire meglio la propria trasmissione. In pratica però un radiotelegrafista riceve con una certa difficoltà se, oltre alla segnalazione propria, ne sente delle altre, anche se più deboli. È quindi necessario che queste ultime spariscano addirittura, cioè che le onde emesse dalle varie stazioni trasmittenti influenzino soltanto le stazioni accordate con esse, e per nulla o quasi le altre; che sia cioè raggiunta quella che si suol chiamare la perfetta *sintonia* delle varie stazioni. Solo in tal caso molte stazioni potranno lavorare utilmente nella stessa regione e nello stesso tempo. Ora le onde capaci di influenzare solo le stazioni accordate con esse sono quelle continue; molto meno adatte le onde smorzate, e tollerabili solo se a *debolissimo smorzamento*.

Se poi si considerano solo quelle continue, la sintonia delle comunicazioni è tanto più perfetta quanto minore è lo smorzamento del circuito ricevente od anche, come si dice, è maggiore la sua selettività.

Nella trasmissione a scintilla la sintonia è influenzata sia dallo smorzamento del trasmettitore che da quello del ricevitore; il primo di solito molto maggiore del secondo. Nella trasmissione ad o. p., queste non hanno smorzamento; e quindi si deve considerare solo quello del ricevitore.

268. - Curve di risonanza. — L'influenza dello smorzamento complessivo della trasmissione e della ricezione si può rilevare dalle *curve di risonanza*, le quali mostrano come varia la corrente ricevuta, in relazione allo *stonamento* o *disaccordo* del circuito ricevente rispetto alla frequenza della trasmissione.

Per tracciare la curva ora detta, si consideri un circuito ricevente nel quale si possa far variare la lunghezza d'onda, e si possa misurare la corrispondente intensità della corrente ricevuta; ed un circuito trasmittente a lunghezza d'onda fissa.

Si disponga il circuito ricevente accordato successivamente su varie lunghezze d'onda, tutte leggermente diverse da quella che si deve ricevere, e si misurino le correnti che in esso si generano in tali condizioni, sotto l'azione del circuito trasmittente, con il quale deve essere accoppiato in modo costante. Si portino, su una retta XX (fig. 275), dei tratti proporzionati alle successive lunghezze

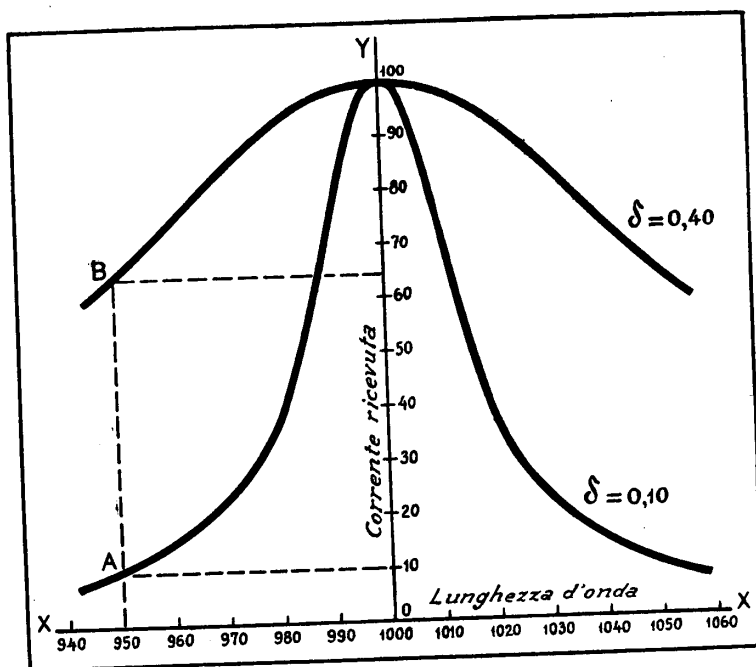



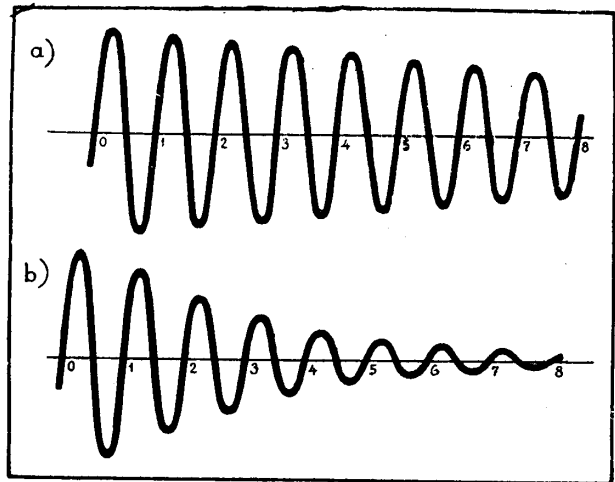
Fig. 275.

d'onda del circuito ricevente, e verticalmente, in corrispondenza di ciascun tratto, si portino dei segmenti proporzionali alle corrispondenti intensità di corrente ricevuta. Unendo gli estremi di questi segmenti si ha una curva analoga a quelle indicate alla fig. 275. Si è supposto di fare la prova in due differenti casi: in uno di essi (a) il decremento complessivo era d = 0,10 e nell'altro (b) era d = 0,40. Se si trattasse di oscillazioni smorzate agenti su un circuito ricevente di decremento trascurabile, i due decrementi sarebbero quelli dei due trasmettitori, di cui le oscillazioni si potrebbero rappresentare con la fig. 276. L'oscillazione *b*) di decremento 0,40, dopo 8 periodi, è quasi annullata, mentre quella *a*) di decremento 0,10 è ancora all'80 % del suo valore.

Le stesse curve di risonanza si ottengono se si fa agire una f. e. m. persistente (non smorzata), debolmente accoppiata con due diversi circuiti riceventi, aventi i decrementi indicati di 0,40 e 0,10. In questo caso le oscillazioni che si ottengono nei circuiti sono persistenti, come la f. e. m. agente, ed hanno sempre la frequenza di questa; le ordinate delle curve di risonanza indicano le ampiezze delle diverse correnti che si ottengono variando il disaccordo, a parità di corrente di risonanza nel ricevitore, riferito alla corrente di risonanza come 100.

Fig. 276.

Precisamente, dalla figura 275 si rileva che la massima ricezione, 100 %, si ha in entrambi i casi, con l'onda di 1000 metri, che è l'onda fissa del trasmettitore; inoltre, che se il circuito ricevente si mette fuori dell'accordo su onde diverse da 1000 metri, si ha una diminuzione della corrente in tutti i casi; ma essa è diversa, secondochè il decremento complessivo è 0,10, oppure 0,40. E precisamente, nel caso del decremento d = 0,10, la corrente ricevuta diminuisce rapidamente, mentre per il decremento d = 0,40 essa scende molto adagio. Per l'onda di 950, ad esempio, mentre con il decremento 0,10 la corrente ricevuta si è già ridotta a 10 circa, con decremento 0,40 essa è ancora a più di 60.

La curva di risonanza si può tracciare anche portando sull'asse XX le frequenze, anzichè le lunghezze d'onda.

269. - Influenza del decremento dei circuiti sulle interferenze di ricezione. — Considerando la fig. 275 si supponga che una stazione trasmetta con onde smorzate di 1000 metri e con decremento 0,10, e che il circuito ricevente abbia decremento trascurabile; oppure che la trasmissione sia persistente (d = 0), ed il circuito ricevente abbia decremento 0,10. In tali casi la trasmissione non produrrà quasi più alcun effetto sulla ricevente, se questa viene disposta sull'onda di 950 m. Infatti il suo effetto su di essa da 100 si è ridotto a 10 circa. Se invece la stessa stazione trasmittente usa, con la stessa onda di 1000 m., il decremento 0,40, e il circuito ricevente ha decremento trascurabile; oppure usa onde persistenti, ma il circuito ricevente ha decremento 0,4, essa disturberà ancora fortemente la stazione disposta su 950 m., perchè con tale decremento complessivo la diminuzione di effetto è solo da 100 a 65 circa. Anzi, con decremento complessivo 0,40, il disturbo è ancora notevole, anche per stazioni accordate per onde molto minori di 950 metri.

In altre parole, un operatore che sia disturbato ricevendo un' onda smorzata con d = 0,10, (oppure usando un ricevitore con decremento 0,10 per ricevere un' onda persistente), dovrà solo leggermente stonare la propria ricezione, perchè subito l'effetto del disturbo diminuisca fortemente: mentre se il decremento complessivo è d = 0,40, lo stesso operatore dovrà stonare di molto il proprio ricevitore per diminuire il disturbo; e con ciò egli probabilmente indebolirà molto anche la propria ricezione, senza forse neppure riuscire ad eliminare del tutto il disturbo. Si può quindi concludere che *le onde molto smorzate disturbano molto e sono difficili da eliminare*, e che i circuiti riceventi a forte decremento non sono atti ad eliminare le interferenze di altre stazioni, e cioè sono poco selettivi.

Il decremento d = 0,40 in trasmissione è all'incirca quello delle stazioni ad onde smorzate eccitate in pieno aereo (vedi nr. 198 e 199); quello d = 0,10 è all'incirca quello delle migliori stazioni ad eccitazione indiretta, che hanno minore smorzamento.

Il decremento 0,40 in ricezione si può avere nei circuiti di aereo che presentano forti resistenze di terra; il decremento 0,10 è quello dei circuiti chiusi ordinari; nei migliori casi si può scendere a 0,03.

270. - Influenza del decremento nel regime transitorio. — I circuiti che vengono eccitati con f. e. m. persistente, partendo dal riposo passano per uno stato transitorio di eccitazione, prima di raggiungere quello definitivo, nel quale oscillano con frequenza eguale a quella dell'eccitazione, e con ampiezza dipendente dalla loro dissonanza e dal loro decremento. Nello stato transitorio le oscillazioni crescono gradatamente; e sulla durata di tale periodo ha grande importanza il decremento del circuito. E precisamente un decremento elevato produce un regime transitorio breve; una obbedienza quindi più pronta e più rapida alla eccitazione.

Ciò viene messo in evidenza nella figura 277, nella quale si vede l'effetto di due eccitazioni, una smorzata (d = 0,20) e una persistente, rappresentate sulla prima orizzontale su due circuiti riceventi, uno di decremento 0,1 e l'altro 0,4; come si vede il secondo è molto più rapidamente obbediente del primo.

Questa proprietà dei circuiti più smorzati può essere in qualche caso utilizzata, poichè essa vale per tutti i generi di eccitazione, e non solo per le onde elettromagnetiche persistenti.

271. - Selettività nella ricezione delle o. p. — Le onde persistenti hanno decremento nullo, e quindi la curva di risonanza è determinata dal solo decremento della ricezione, che può essere piccolo. Una riduzione notevole di decremento nel ricevitore si può ottenere impiegando vari circuiti oscillanti accordati, accoppiati fra di loro debolmente, con o senza l' intermezzo di valvole amplificatrici. Se i vari circuiti sono di piccolo decremento, allora ciascuno contribuirà ad aumentare la selettività, riducendo sempre più le oscillazioni di frequenza diversa da quella della risonanza. La curva di risonanza rilevata sull'ultimo circuito si appuntisce quindi fortemente, assumendo la forma della figura 278, nella quale le ascisse rappresentano le frequenze della corrente, in migliaia di cicli (chilocicli). La forma della curva indica che per eccitazioni che non abbiano la frequenza comune sulla quale sono accordati i vari circuiti, la corrente ottenuta nel ricevitore, a parità di altre condizioni, viene fortemente ridotta.

$\delta_t = 0,2$
Circuito trasmittente
$\delta_r = 0,1$
$\delta_t + \delta_r = 0,3$
Circuito ricevente
$\delta_r = 0,4$
$\delta_t + \delta_r = 0,6$
$\delta_t = 0,0$
Circuito trasmittente
$\delta_r = 0,1$
Circuito ricevente
$\delta_r = 0,4$

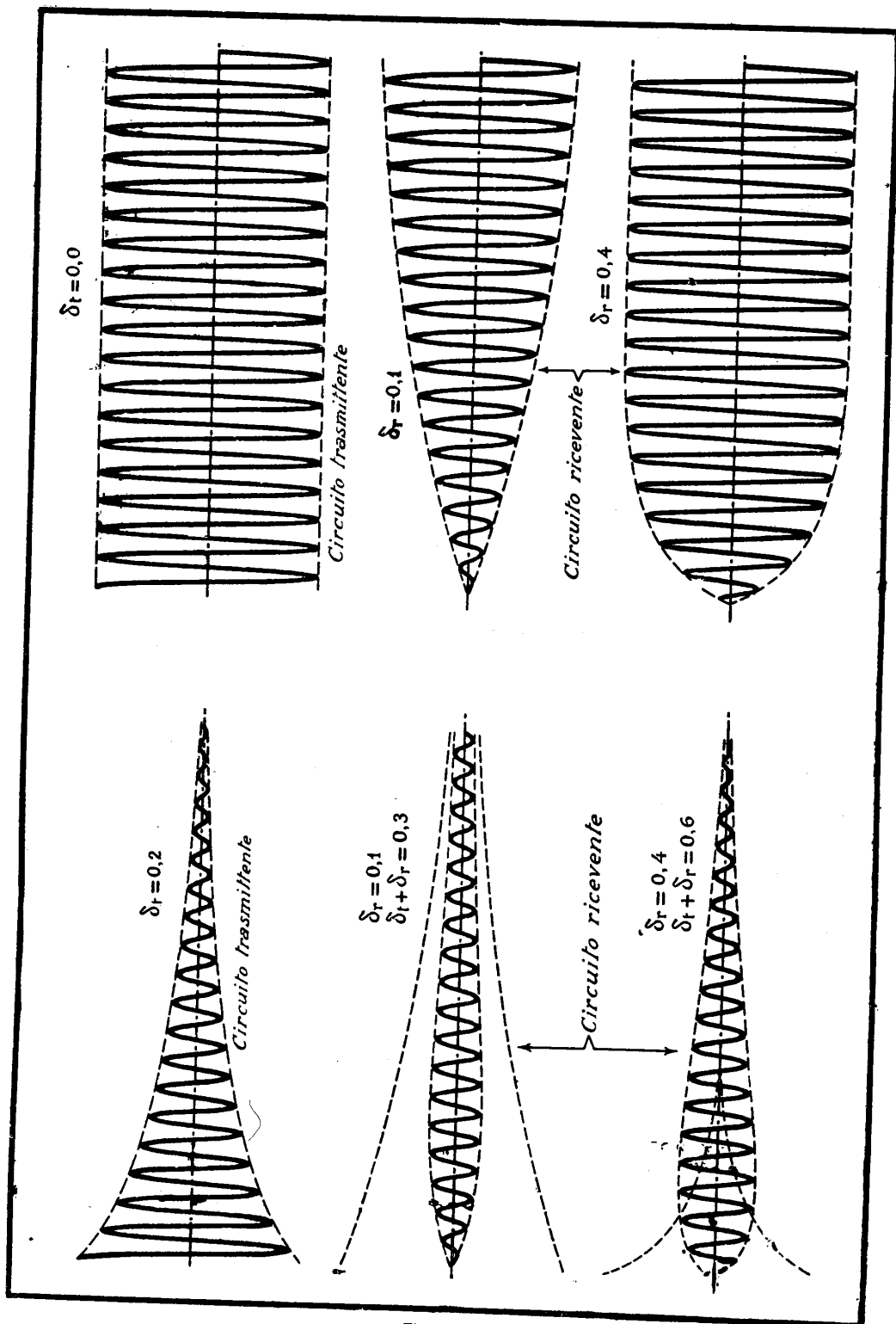



Fig. 277.

Si vedrà in seguito come una eccessiva selettività possa riuscire dannosa nella ricezione delle emissioni radiotelefoniche, perchè può produrre una deformazione dei suoni ricevuti. Per le emissioni radiotelegrafiche il danno è minore; ma per queste non è in genere necessario una eccessiva selettività elettrica, perché nella ricezione delle onde r. t. persistenti si può anche sfruttare la se-

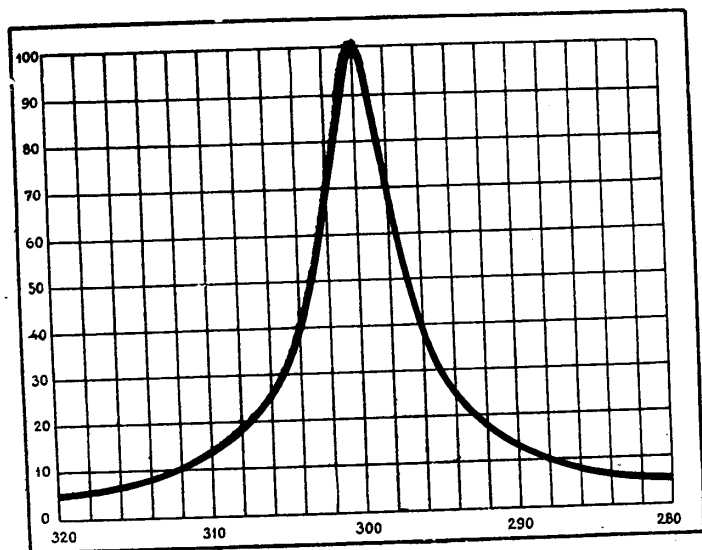



Fig. 278.

lettività acustica che può essere più efficace di quella elettrica. Inoltre una eccessiva selettività elettrica può in certo qual modo costituire ancora un difetto, in quanto rende più difficile la ricerca dell'onda che si vuol ricevere, bastando il minimo disaccordo per farla scomparire dal ricevitore. Potrà quindi avvenire, in qualche caso, che sia utile di aumentare il decremento del ricevitore, per rendere più facile la ricerca della stazione corrispondente.

CAPITOLO XVII.

Rivelazione delle onde smorzate - Rivelatori a cristallo.

272. - RIVELATORI D'ONDA. — Al nr. 254 è stato detto che il cimoscopio (o rivelatore) ha per compito di rendere unidirezionale (o raddrizzata) la corrente generata in un circuito oscillante, con che si rende possibile la ricezione delle onde smorzate e della radiofonia. I *rivelatori a cristallo* e la *valvola di Fleming* funzionano appunto nel modo ora indicato.

I rivelatori a cristallo (od a contatto di cristalli) sono costituiti da cristalli di minerali (artificiali o naturali), come il carborundum, la pirite, la galena ed altri, i quali, in determinate condizioni, permettono di realizzare contatti aventi conduttività unilaterale o per lo meno una diversa conducibilità nei due sensi. Tali contatti, inseriti in un circuito percorso da corrente oscillante o alternata, funzionano come una valvola ad una via, cioè permettono il passaggio della corrente specialmente in una direzione, presentando una resistenza fortissima nella direzione opposta, tale da rendere piccolissima la corrente in questa direzione. Una f. e. m. oscillante applicata ad un tale contatto dà perciò luogo ad una corrente prevalente in una direzione, quella per la quale il contatto è poco resistente. Si dice in tal caso che la f. e. m. oscillante viene raddrizzata o rettificata dal contatto. Questo effetto rettificatore si verifica precisamente nel punto di contatto del cristallo con una superficie metallica opportunamente scelta, secondo il tipo del cristallo stesso, oppure con un altro cristallo.

273. - CRISTALLI RIVELATORI. — Uno dei cristalli rivelatori più usati è il carborundum (carburo di silicio), corpo ottenuto artificialmente nei forni elettrici, dalla combinazione della silice della sabbia col carbone. Esso si presenta in cristallini durissimi di colore verdastro o azzurro acciaio; data la sua durezza serve anche a fare mole per arrotare utensili di acciaio; solo il diamante è più duro del carborundum. Il contatto del carborundum è un rivelatore che presenta una elevata resistenza elettrica, circa 10.000 a 20.000 ohm, nel senso della migliore conducibilità, e una resistenza molto più alta nel senso opposto. Gli altri cristalli usati sono la galena (solfuro di piombo), la zincite (ossido rosso di zinco), la molibdenite (solfuro di molibdeno), la bornite e la calcopirite (solfuri misti di rame

e ferro) ecc., i quali presentano però una resistenza notevolmente inferiore a quella del carborundum (circa 4000 a 2000 ohm nel senso della maggior conduttività), oltre ad un'altra particolarità nei riguardi della curva caratteristica, come si vedrà al nr. 275. Sono pure usati contatti di acciaio e silicio fuso, nonchè il perikon, costituito dal contatto di una punta di bornite su massa di zincite.

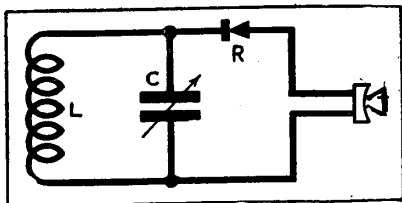



Fig. 279.

Data la resistenza presentata dai contatti rivelatori, essi non si dispongono di solito in serie in un circuito oscillante; se così si fa, si introduce una causa di forte smorzamento nel circuito stesso, e le oscillazioni saranno molto ridotte e vi si spegneranno rapidamente. La disposizione che quindi si adotta è quella del cristallo in derivazione sul circuito oscillante, e più propriamente sul condensatore (se questo esiste) come nella fig. 279, oppure anche sull'induttanza (fig. 280). In serie con il contatto si dispone il telefono, che in generale deve essere shuntato

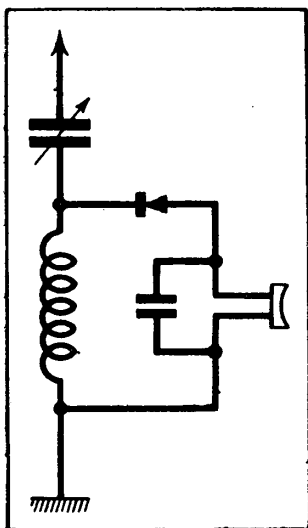



Fig. 280.

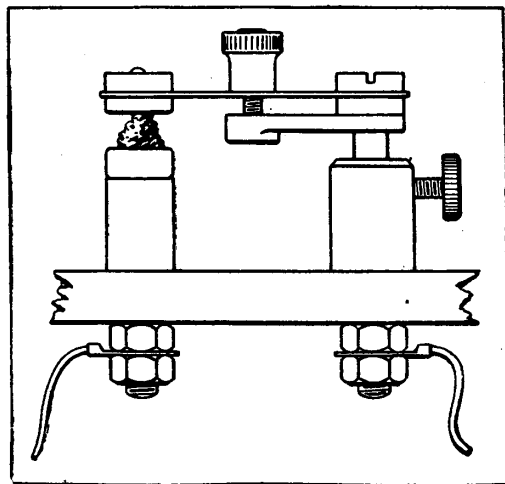



Fig. 281.

da un condensatore di qualche millesimo di microfarad, per dar passaggio agli impulsi ad a. f.

274. - Realizzazione dei contatti rettificatori. — Vari sono i metodi con cui si realizza il contatto rettificatore fra il cristallo e la superficie metallica. Così il carborundum può esser stretto fra due laminette di ottone che formino una specie di pinzetta, dando luogo a due contatti. Tale disposizione è però

poco adatta, ed è preferibile affondare il cristallino in un bicchierino di ottone contenente stagno fuso, il quale solidificandosi trattiene fortemente il cristallo, mantenendolo nello stesso tempo in collegamento elettrico con il bicchierino. Sopra il cristallino fa contatto una laminetta di acciaio (oppure una pastiglia di acciaio portata da una laminetta metallica), disposta in modo da permettere una pressione regolabile ed abbastanza forte (fig. 281). Il bicchierino è munito di un peduncolo a vite; a questo ed alla laminetta si collegano i capi del circuito. Tutto l' insieme è portato da un porta-carborundum che può prendere varie forme, a seconda il tipo del ricevitore.

Nel caso della galena, il cristallino è per solito contenuto in un bicchierino di ottone, analogo al precedente, e vi è trattenuto da una piccola ganascia a vite, oppure vi è saldato con una lega molto fusibile come quella di Wood (1), e non a stagno, perchè la temperatura relativamente elevata a cui fonde lo stagno ne distruggerebbe la sensibilità; l'altro estremo del contatto è costituito da una punta lanciforme esilissima, ricavata da un filo di argentana o di nichel, o meglio d'oro o di similoro, punta che si fa appoggiare sul cristallo. Affinchè la pressione della punta non sia eccessiva, il filo è avvolto a spirale in modo da formare una specie di molla che assorbe la pressione esercitata dalla mano di chi regola il contatto (fig. 282). Il tutto è molto spesso protetto da una custodia in vetro o di metallo. Anche la pirite e la molibdenite richiedono contatti leggeri di fili metallici, mentre il silicio funziona bene col contatto a pressione, ad es. della punta di una vite d' acciaio, temperato o no.

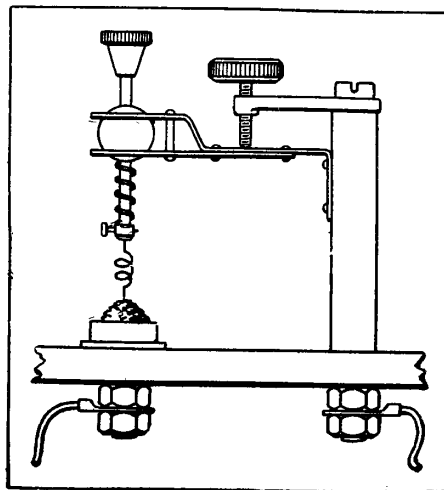



Fig. 282.

Come regolarità di funzionamento sono raccomandabili il carborundum ed il silicio: come sensibilità la galena.

Tutti questi contatti richiedono una accurata scelta dei cristallini e la ricerca paziente dei punti più sensibili; la galena e il carborundum in modo speciale. Inoltre debbono usarsi precauzioni nel maneggio dei cristalli, che non debbono essere sporcati col contatto delle mani o di oggetti grassi.

275. - Curva caratteristica dei cristalli raddrizzatori. — Se si considera un tratto di filo metallico buon conduttore, per esso vale la legge di

(1) È composta di 4 parti di bismuto. 2 di piombo, 1 di stagno ed 1 di cadmio. Fonde a centigradi 60,5.

Ohm, e cioè applicando ai suoi estremi una d. d. p. crescente, si avrà in esso una corrente proporzionalmente crescente. Cosicchè se si fa una rappresentazione grafica del fenomeno, portando su una linea orizzontale a partire dal punto O, come nella fig. 283, delle lunghezze proporzionate alle d. d. p. applicate, e verticalmente, al termine dei relativi segmenti, delle lunghezze proporzionate alla intensità delle correnti corrispondenti, e si congiungono gli estremi di queste verticali, si ha come rappresentazione del fenomeno *una linea retta* che passa per O (segmento O7).

Tale linea prosegue con la stessa inclinazione dall'altra parte del punto O, in corrispondenza di valori negativi successivamente crescenti del potenziale.

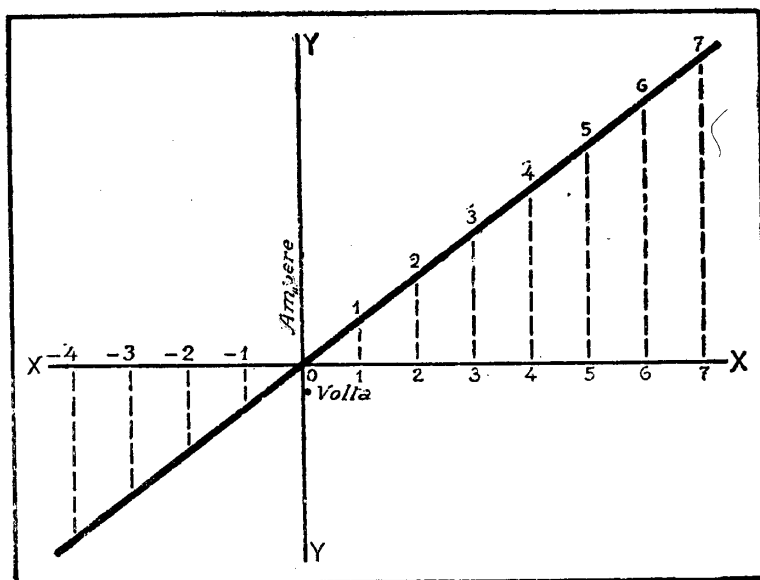



Fig. 283.

Ciò perchè, per potenziali applicati allo stesso filo, ma in senso inverso a quelli prima considerati, la corrente assume valori corrispondenti, ma di direzione opposta.

Se ora la stessa operazione si fa considerando, anzichè un filo metallico, un contatto di carborundum, si ottiene una linea simile a quella della fig. 284. Cioè, si rileva che a partire da una certa d. d. p. A A (poco inferiore a 3 volta nella figura), le correnti crescono molto più rapidamente di prima, cosicchè il fenomeno, anzichè essere rappresentato da una retta, come nel caso dei normali corpi buoni conduttori, è rappresentato da una linea, detta *curva caratteristica del cristallo,* composta di due tratti pressochè rettilinei raccordati da un ginocchio in prossimità del punto A. A partire da A si ha dunque diminuzione di resistenza nel contatto, ciò che ne caratterizza la proprietà raddrizzatrice, cioè la condutti-

vità quasi unilaterale. Il punto A si trova, secondo i cristalli, più o meno vicino al punto O; può coincidere con esso (fig. 285) per i cristalli di galena, pirite, silicio ecc.; per il carborundum è sempre fuori da tale punto, La caratteristica si può ricavare anche per potenziali negativi applicati al contatto, e nella maggior parte dei casi si trova per essi che la corrente è molto piccola, cosicchè la curva per un certo tratto coincide pressapoco con il prolungamento dell'asse O X, a sinistra di O.

Dalla caratteristica (che si può fare nel modo detto, per qualunque cristallo), si può ricavare non solo a quale d. d. p. avviene il cambiamento di resistenza

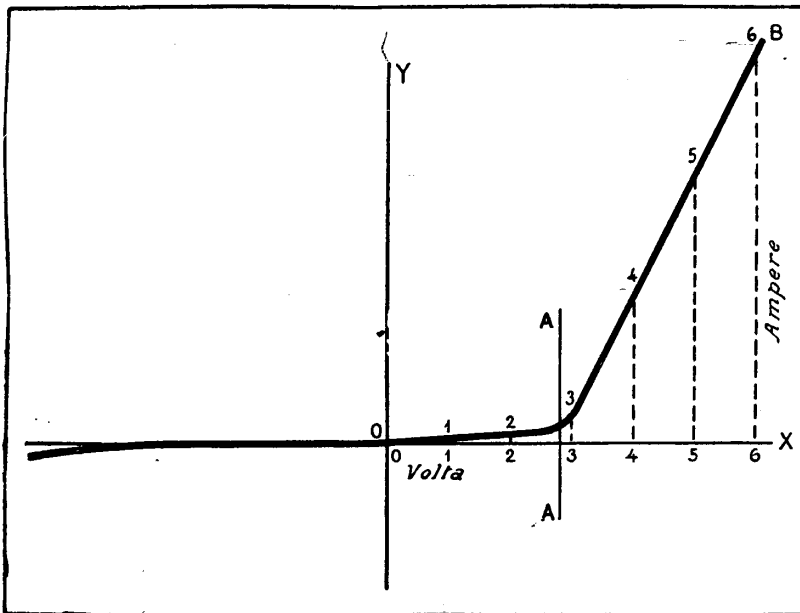



Fig. 284.

(punto A della curva), ma anche l'entità del cambiamento, poichè questo dipende essenzialmente dalla inclinazione del tratto A B, essendo quello O A quasi sempre poco discosto dalla orizzontale O X.

Così se il tratto A B è molto ripido, ciò significa che la diminuzione di resistenza è forte; è debole invece quando il tratto A B è poco ripido, cioè quasi sul prolungamento di O A. Sono migliori i cristallini pei quali l'inclinazione di A B è grande, cioè quelli che hanno, come si dice, *una caratteristica molto ripida,* perchè essi hanno in conseguenza un gran potere rettificatore.

276. - Potenziometro. — Se il gomito della caratteristica corrisponde al valore zero di potenziale applicato, allora nessun dispositivo speciale è necessario perchè il cristallo funzioni da rivelatore: la disposizione del circuito è quindi

quella già data alle figure 279 e 280. Ma se il gomito non corrisponde allo zero, e si trova invece in corrispondenza di un valore più o meno grande di potenziale positivo, allora è necessario applicare permanentemente al cristallino una

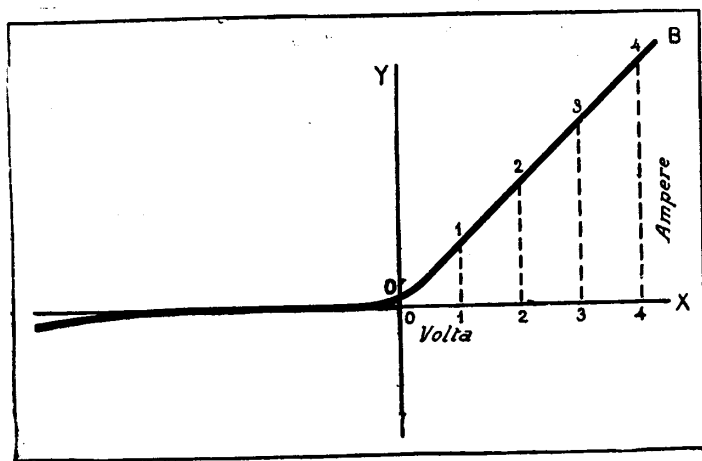



Fig. 285.

d. d. p. facilmente regolabile, appunto perchè sia possibile portare il funzionamento del contatto al punto A (ginocchio) della caratteristica, il quale varia, benchè di poco, da un cristallo all'altro. Occorre dunque disporre di un mezzo adatto per avere questa d. d. p. variabile; ed occorre che essa sia inserita in modo che la corrente percorra il cristallino ed il telefono. Un tale mezzo è fornito dal *potenziometro o regolatore di potenziale,* di cui lo schema risulta dalla fig. 286. Esso consiste in una spirale A B di filo resistente, avvolta su un blocchetto di materiale isolante (in genere ardesia), e sulla quale si ha un contatto scorrevole, S_1. Gli estremi A e B della resistenza sono collegati ai poli di una batteria di due o tre elementi di pila; il circuito utilizzatore W_1 W_2 è attaccato da una parte ad uno degli estremi (A) della stessa resistenza e dall'altra al contatto scorrevole S_1. La resistenza della spirale A B deve essere abbastanza forte perchè la corrente che passa in essa abbia piccola intensità, cosicchè la batteria non si scarichi troppo presto. In pratica si ottengono spirali resistenti meccanicamente allo sfregamento dovuto al contatto scorrevole, e di poco volume, facendole con filo di argentana, o di costantana, o di manganina,

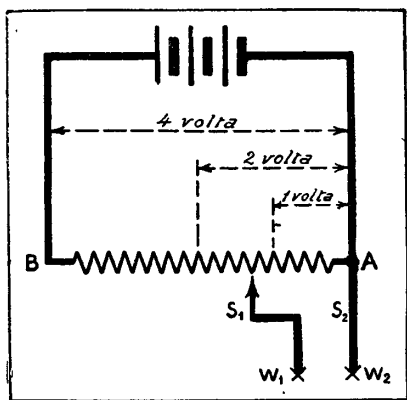



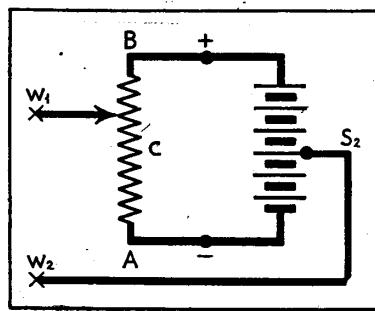
Fig. 286.

col quale si ottengono facilmente 2000 ohm e anche molto di più, di resistenza elettrica. Con 4 volta di f. e. m. si ha così una corrente di $^1/_{500}$ di ampere; la scarica della batteria è molto lenta, e la batteria può durare varie settimane senza esaurirsi (1).

Tenendo presente la figura 286, e supponendo che la tensione della batteria sia di 4 volta, la stessa tensione si ha pure tra i punti A e B, estremi della resistenza, cosicchè se si fa scorrere il contatto mobile S_1 fino a che sia giunto in B, nel circuito esterno W_1 W_2 si verrà ad avere la d. d. p. di 4 volta. Se invece si fa muovere S_1 verso A quando esso è giunto in A la d. d. p. tra i due punti W_1 W_2 è ridotta a zero; fermando poi S_1 in un punto intermedio tra A e B, si ha tra W_1 e W_2 una d. d. p. intermedia tra o e 4 volta, e proporzionata al tratto di resistenza compresa tra il contatto scorrevole S_1 e l'estremo A della resistenza.

Fig. 287.

Facendo scorrere gradatamente S_1 tra A e B, è così possibile ottenere tra W_1 e W_2 tutte le d. d. p. intermedie tra o e 4 volta.

La forma ora descritta è quella del potenziometro semplice. Esiste però un'altra forma detta potenziometro ad inversione. In esso (fig. 287) la resistenza A B è in circuito con la batteria; il circuito esterno ha un capo al cursore mobile e l'altro ad un punto intermedio della batteria, in S_2. Con lo spostarsi del cursore mobile lungo A B, è possibile non solo far variare la d. d. p. applicata a W_1 W_2, ma invertirla. Supposta infatti la batteria di 6 volta, e l'attacco di S_2 al punto di mezzo (3 volta), si ha che W_2 è costantemente alla tensione 3, dato che dal valore zero in A si deve giungere al valore 6 in B. Se il cursore mobile si trova nel punto C (verso il mezzo di A B) che ha tensione 3, anche W_1 avrà tale valore, e quindi fra W_1 e W_2 non ci sarà d. d. p. Se ora si sposta il cursore mobile dal punto C verso A, esso assumerà i potenziali minori di 3, e quindi W_1 avrà un potenziale inferiore a W_2. Se invece si sposta il cursore mobile dal punto C verso B, allora esso assumerà i potenziali maggiori di 3, e quindi anche W_1 avrà un potenziale superiore a W_2. Con il movimento del cursore mobile lungo A B si passa dunque da una d. d. p. positiva nel senso W_2 W_1 ad una positiva nel senso W_1 W_2; si ottiene cioè una inversione di d. d. p. fra i punti W_1 e W_2.

277. - Applicazione del potenziometro al carborundum. — La disposizione più conveniente è indicata nella fig. 288. Il potenziometro applicato è del tipo ad inversione che permette, col semplice spostarsi del cursore lungo la spirale, di variare il senso della d. d. p. applicata. Questo potenziometro richiede una batteria di tensione doppia di quella occorrente per raggiungere il ginocchio della caratteristica, ; per evitare ciò può essere più conveniente ricorrere ad un

(1) Per le resistenze variabili vedi anche il nr. 25.

supporto di carborundum che sia facilmente invertibile, usando allora un potenziometro semplice.

I cristalli di galena sono più comodi, perchè non richiedono il potenziometro; sono poi anche più sensibili, ma sono meno costanti di funzionamento del carborundum.

Si preparano ora anche dei rivelatori artificiali, racchiusi in appositi supporti, di funzionamento molto stabile; sono generalmente dei solfuri, e non richiedono potenziometro.

278. - Rivelazione delle oscillazioni smorzate. — Si consideri la caratteristica di un cristallino, e si supponga che il gomito si verifichi per un potenziale positivo applicato. Per quanto è già noto, essendo il cristallino disposto in parallelo sul condensatore del circuito oscillante chiuso, tutte le oscillazioni di potenziale fra le armature del condensatore si tradurranno in aumenti ed in diminuzioni del potenziale applicato al cristallino. Le oscillazioni di potenziale al condensatore sono dovute alla corrente che percorre il circuito oscillante chiuso, in esso indotte dall'aereo o da un circuito amplificatore. Supposto che si tratti di ricezione di onde smorzate, la successione dei treni d'onda incidenti sull'aereo crea una successione di treni di corrente oscillante nel circuito chiuso, e di conseguenza una successione di treni di oscillazioni di potenziale sul cristallino. Nella fig. 289 è segnata la caratteristica in corrispondenza di due assi, uno orizzontale (delle tensioni applicate), uno verticale (delle correnti nel cristallino). Non è considerata la parte della caratteristica corrispondente ai potenziali negativi applicati, dato che il gomito della curva si ha per un potenziale positivo, rappresentato dal segmento OP. Sulla verticale passante per P, e inferiormente, sono segnati i treni di oscillazione di potenziale; dette curve sono riferite all'asse orizzontale della caratteristica (asse delle tensioni) ed alla retta PM (asse dei tempi).

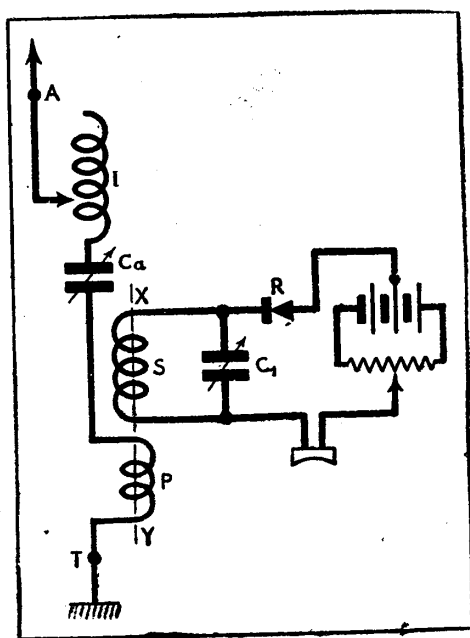



Fig. 288.

Supposto che per un certo tempo non si abbiano variazioni di potenziale, il cristallino (e quindi il telefono ad esso collegato), è percorso da una corrente di valore costante, rappresentata dalla retta P'M', parallela all'asse delle tensioni; il valore della corrente è indicato dal segmento PP'. All' istante Q incomincia

il treno d'onda PAB... KL. La tensione applicata al cristallo subisce un primo aumento in A, seguito da un ritorno al valore base, e quindi da uno scarto B in diminuzione; e così via per i successivi scarti C, E, G ecc. in aumento; D, F, H... in diminuzione. La corrente che percorre il cristallo subirà altrettanti scarti in aumento ed in diminuzione dell' intensità, con questa differenza che mentre gli scarti di potenziale rispetto al valore base OP sono pressapoco

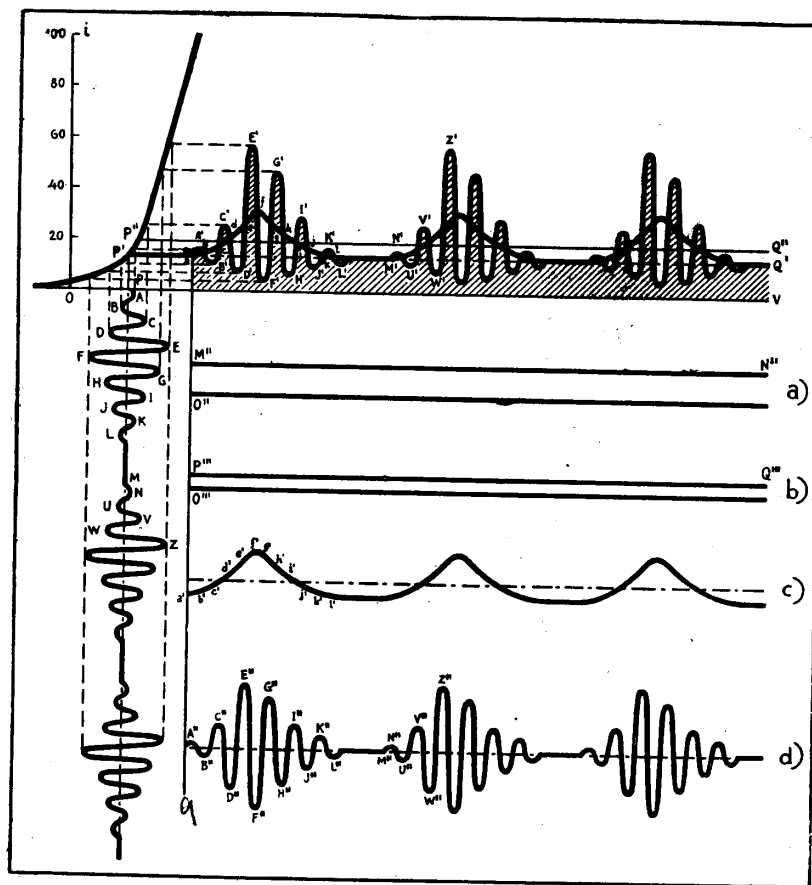



Fig. 289.

simmetrici, quelli di corrente rispetto all' intensità base P'Q' non sono simmetrici, a causa della diversa conduttività del cristallo, rappresentata dalla caratteristica; e cioè gli scarti in aumento saranno maggiori di quelli in diminuzione. Finito il treno di oscillazioni, la corrente riprende la sua intensità normale L'M', salvo a ricominciare con un altro treno di oscillazioni, da M' in poi.

Nella figura sono appunto disegnati rispetto all'asse P'Q' i treni di corrente oscillante, deformati od anche, come si dice, raddrizzati. Per vedere in qual ma-

niera una corrente così disposta possa far vibrare il telefono ad una frequenza musicale, basterà fare le seguenti considerazioni :

La corrente nel telefono è rappresentata dalla parte tratteggiata nella figura. Ora a partire dall'inizio del treno di oscillazione, si tracci una curva abcd... hijk... tale che passi per i punti di mezzo dei rami della A'B'... M'N'... Si avrà così la curva, che potrà chiamarsi di compenso della A'B'... M'N'..., rispetto alla quale la A'B'... M'N'... è simmetrica. Si può dire allora che in luogo della curva O'A'B'... M'N', non simmetrica rispetto alla orizzontale MN, se ne possono sostituire due : la (abc... e la Q'A'B'... M'N'..., essendo la seconda simmetrica rispetto alla precedente. Si può ora tracciare un'orizzontale P"Q", che tagli per metà i rami della curva abc... M'nu... Si avrà la retta di compenso della curva abcd... hijk...

Si possono ora disegnare separatamente quattro diagrammi *a)*, *b)*, *c)*, *d)* nei quali si hanno rispettivamente :

in *a)* la retta M" N" parallela all'asse di riferimento, essendo O" M" uguale a P P';

in *b)* la retta P''' Q''' parallela all'asse di riferimento, essendo O''' P''' uguale a P' P";

in *c)* la curva a' b'... j'l'm'n'... ripetizione della curva abc... jlmn... rispetto all'asse P" Q";

in *d)* la curva A"B"... J"L"M"M"... disposta simmetrica all'asse di riferimento, e che è la curva M"A'B'... J'L'M'N'... non deformata.

Per il modo come le quattro curve sono state dedotte, è facile rilevare che le ordinate della curva M'A'B'... J'L'M'N' rispetto all'asse OV, la quale rappresenta la corrente che effettivamente percorre il circuito di rivelazione, si possono tutte ottenere sommando algebricamente le ordinate dei punti corrispondenti delle curve *a)*, *b)*, *c)*, *d)*, cioè aggiungendo i segmenti positivi ai positivi, e sottraendo i negativi dai positivi.

In base a questa constatazione si può affermare che è lo stesso dire che il telefono è percorso da una corrente che ha l'andamento della parte tratteggiata della figura, oppure che esso è percorso contemporaneamente dalle seguenti correnti di frequenza diversa :

la prima *a)*, di frequenza zero, e cioè corrente continua del valore OM, determinata dal potenziale costante applicato al rivelatore per portarlo al gomito della caratteristica ;

la seconda *b)*, pure di frequenza zero : e cioè un'altra corrente continua che, sommandosi alla precedente, varia il magnetismo nel telefono, e quindi la sua sensibilità ;

la terza *c)*, di frequenza acustica uguale alla frequenza dei treni d'onda ;

la quarta *d)*, di frequenza radiotelegrafica, uguale alla frequenza dell'onda ricevuta.

La prima esiste anche quando non vi sono oscillazioni nel circuito ; le altre tre sono dovute invece alle oscillazioni in arrivo, che vengono deformate dal cristallino rettificatore rivelatore.

La corrente di frequenza radiotelegrafica, che non è udibile, attraversa in misura limitatissima il telefono, data l'impedenza grandissima degli avvolgimenti, e invece passa o attraverso ad un piccolo condensatore che di solito viene disposto in parallelo sul telefono, o per la capacità propria distribuita del telefono stesso: in ogni caso essa può produrre solo delle lievi trepidazioni della lamina del telefono, aventi la stessa frequeuza, che è inudibile, come si è detto.

La corrente di frequenza acustica infine mette in effettiva vibrazione la laminetta telefonica, dando un suono di tonalità corrispondente alla frequenza dei treni d'onda.

Il cristallino ha dunque servito a deformare il treno di corrente oscillante in arrivo ed a metterne in evidenza, o separare, la parte a frequenza acustica, parte che è essenziale per la ricezione, perchè è precisamente la sola che può produrre un suono udibile al telefono, cioè la sola che può rivelare la segnalazione r. t. In questa scomposizione della corrente oscillante ricevuta, per separarne la parte a frequenza acustica da quella a frequenza radio, sta l'essenza della rettificazione o *rivelazione* delle o. e. m.

Se mancasse la parte a frequenza acustica, come nel caso delle onde persistenti, la ricezione non sarebbe possibile con questa semplice rivelazione, mancando la corrente udibile *c)*. Se poi le onde fossero modulate come nella radiotelefonia, la curva *c)* sarebbe la riproduzione della corrente microfonica modulante, corrispondente alla voce di chi parlava alla trasmissione. Essa quindi riprodurrebbe esattamente la voce nel telefono ricevente.

Se per contro, anche nel caso delle onde smorzate o della radiofonia, mancasse la rettificazione, la laminetta del telefono sarebbe bensì sollecitata a vibrare con ampiezza continuamente variabile dalla corrente oscillante non rettificata, ma le vibrazioni sarebbero sempre di frequenza radio, inudibile, ed i segnali non sarebbero percepiti. Di qui la necessità del processo di separazione della frequenza acustica da quella radio, dato appunto dalla rivelazione.

Si noti che nella rettificazione delle oscillazioni, alla corrente costante dovuta al potenziale fisso applicato al cristallo, si aggiunge sempre una corrente continua, d'intensità dipendente dalla intensità delle onde in arrivo. Le cose devono essere così disposte che tali correnti continue aumentino il magnetismo permanente del telefono, per aumentarne la sensibilità, e non in modo da opporsi ad esso e contrastarlo. Si può quindi in genere avere un vantaggio nello scambiare gli attacchi del telefono, precisamente per ottenere che le correnti suddette percorrano le elettrocalamite nel senso giusto.

Riprendendo l'esempio considerato al nr. 215 nel caso di una emissione smorzata, si avrà nel telefono il seguente funzionamento. In corrispondenza del punto della lettera *a* si formeranno nei circuiti riceventi 40 treni di corrente oscillante che, raddrizzati, daranno luogo a 40 colpettini sulla laminetta del telefono, per la durata complessiva di $^1/_{15}$ di secondo; ciò che equivale ad una vibrazione della durata di $^1/_{15}$ (punto), e della tonalità $40 \times 15 = 600$. Il telefono

resterà poi a riposo per $^1/_{15}$ di secondo, intervallo fra il punto e la linea; dopo di che riceverà altri colpettini per la linea, e precisamente 120 colpi in $^1/_5$ di secondo, ciò che equivale ad una vibrazione della durata di $^1/_5$ di secondo (e cioè di $^3/_{15}$, il triplo quindi di quella del punto: durata della linea), e della tonalità $120 \times 5 = 600$. Al telefono dunque si percepiscono i punti e le linee dei segnali Morse con la stessa nota della scintilla allo spinterometro del trasmettitore, e con intensità più o meno grande, a seconda la potenza del trasmettitore, la sensibilità del ricevitore, l'altezza degli aerei e la distanza fra le due stazioni.

Se si fosse ricevuto da un trasmettitore radiotelefonico, la laminetta telefonica avrebbe vibrato seguendo le varie frequenze telefoniche, separate nella rivelazione, (linea C della fig. 289) che sostituiscono la frequenza fissa dei treni d'onda delle emissioni smorzate. Con ciò il telefono avrebbe riprodotto i suoni che avevano servito a modulare la frequenza radio nella stazione trasmittente.

CAPITOLO XVIII.

Rivelazione delle onde persistenti.

279. - IMPOSSIBILITÀ DELLA RIVELAZIONE CON I RIVELATORI SEMPLICI. — Si è visto che un rivelatore d'onda semplice (ad es. un cristallino di carborundum od una valvola rivelatrice), avendo una conduttività unilaterale (o almeno potendo considerarsi come tale), deforma i varî treni d'onda di una trasmissione a scintilla (ad onde smorzate), riducendoli da quelli rappresentati nella fig. 290 *a)* a quelli della fig. 290 *b)* (1). Il circuito del telefono diviene sede di quattro feno-

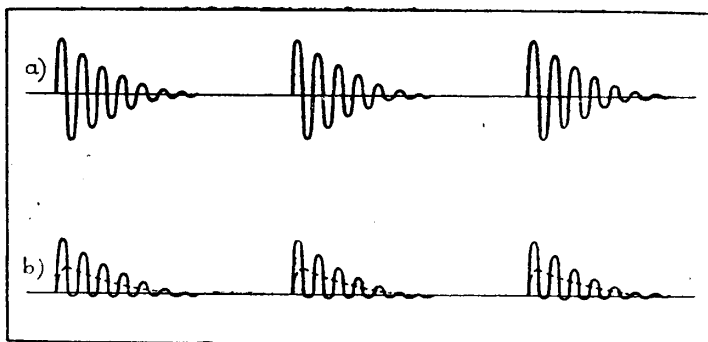



Fig. 290.

meni di frequenza diversa; di cui quello interessante per la ricezione è rappresentato dalla corrente a frequenza acustica, che ha l'andamento della linea tratteggiata nella figura, e che quindi provoca la vibrazione della laminetta, con la frequenza dei treni d'onda. Analogamente, una emissione radiofonica viene scissa dal rivelatore in quattro componenti, di cui una riproduce esattamente la frequenza acustica modulatrice della trasmissione.

Per mezzo del rivelatore si riesce dunque a far vibrare la laminetta del telefono non con la frequenza della corrente portante di alta frequenza, che

---

(1) Vedi anche figura 289.

sarebbe inudibile, perchè troppo elevata, ma con quella dei treni d'onda, o della modulazione radiofonica, che sono sempre comprese nei limiti delle tonalità percepite dall'orecchio.

Nel caso delle onde non modulate, che mantengono la stessa ampiezza per tutto il tempo per cui sono generate, un rivelatore semplice dà bensì un effetto di raddrizzamento, ma mancando la componente a frequenza udibile, si ha solo una attrazione permanente della laminetta per tutta la durata del segnale, che cessa al cessare di questo, oltre ad una serie di impulsi di radiofrequenza che influenzano pochissimo il telefono per la sua alta impedenza, e che in ogni caso producono nella lamina solo vibrazioni a radiofrequenza, e quindi inudibili. Quindi operando con un ricevitore semplice per ricevere onde continue si sentirebbe nel telefono solo un colpetto all' istante in cui si inizia il segnale, ed uno all' istante in cui questo finisce; si avrebbe cioè una ricezione paragonabile alla sounder telegrafica, nella quale si sente soltanto la successione dei colpettini che si hanno nelle due incudinette (anteriore e posteriore) del tasto trasmettitore nella manipolazione dei segnali Morse.

Per le onde persistenti dunque, prima di operare il raddrizzamento della corrente oscillante, è necessario imprimere sulle onde in arrivo una frequenza acustica, che si aggiunga ad esse modificandone l'ampiezza, ottenendosi qualcosa di analogo alla modulazione radiofonica, od alla successione dei treni d'onda. Si può arrivare a questo mediante un interruttore meccanico che alla ricezione interrompa ritmicamente qualche centinaio di volte al secondo la corrente oscillante persistente ricevuta, in modo che si abbia una successione di treni che, dopo raddrizzati. possano agire sul telefono e darvi un suono udibile. Questo metodo, detto *ricezione con ticher,* è però troppo scomodo, poco redditizio e non selettivo, ed è stato sostituito dal sistema ad *eterodina,* nel quale si ricorre al fenomeno dell' interferenza, e cioè alla sovrapposizione di una oscillazione locale, di carattere continuo, e di frequenza lievemente differente da quella della corrente oscillante provocata nel circuito ricevente dalle onde e. m. che incidono sull'aereo. Dalla interferenza di queste due oscillazioni si può ottenere la frequenza udibile necessaria.

280. - Interferenza delle vibrazioni - Battimenti. — Nel fenomeno della composizione di due vibrazioni possono presentarsi tre diversi casi (1). Il più semplice è quello in cui le due vibrazioni siano di eguale frequenza ed in fase; viene poi il caso di due vibrazioni di egual frequenza, ma non in fase; e per ultimo quello di due vibrazioni di diversa frequenza, ciò che comporta le fasi continuamente variabili.

Se le vibrazioni hanno eguale frequenza ed eguale fase, ciò significa che tutte e due hanno contemporaneamente i valori nulli, quelli massimi positivi e quelli massimi negativi. In questo caso, l'oscillazione risultante è in ogni momento uguale alla somma delle due componenti: ha uguale frequenza ed è in

(1) Su tale argomento vedi anche nr. 203 e 204.

fase con esse. La fig. 291 rappresenta tale composizione, essendo A e B le oscillazioni componenti e C quella risultante.

Se le vibrazioni hanno uguale frequenza ma non sono in fase, tale sfasamento può avere un valore qualunque, compreso fra 0° e 180°. Nel caso dello sfasamento a 180° si ha la corrispondenza delle due vibrazioni, ma con valori opposti, e cioè ad esempio, al massimo positivo dell'una corrisponde il massimo negativo dell'altra. In ogni caso, qualunque sia lo sfasamento, la oscillazione risultante è in ogni istante, uguale alla somma algebrica delle due componenti; ed ha minima ampiezza quando lo sfasamento è di 180° (fig. 292). Se le due oscillazioni componenti sono anche di eguale ampiezza, allora l'oscillazione risultante, nel caso di sfasamento a 180°, è nulla.

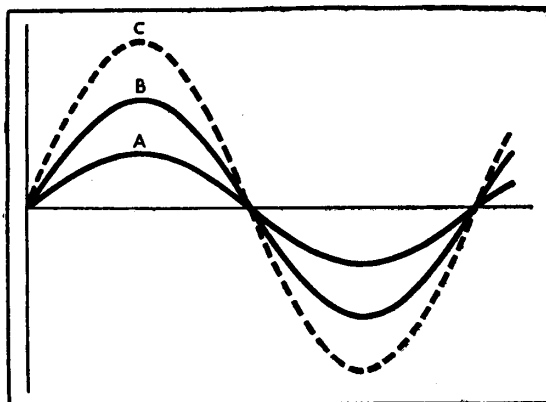



Fig. 291.

Quando per ultimo le due vibrazioni componenti non hanno eguale frequenza, allora esse si troveranno ora sì ed ora no in fase; e lo sfasamento assumerà tutti i valori da 0° sino a 180°. Quindi l'oscillazione risultante sarà in determinati istanti eguale alla somma delle componenti, ed in altri eguale alla differenza (che può anche essere zero, se le ampiezze delle vibrazioni componenti sono eguali), passando per tutti i valori intermedi.

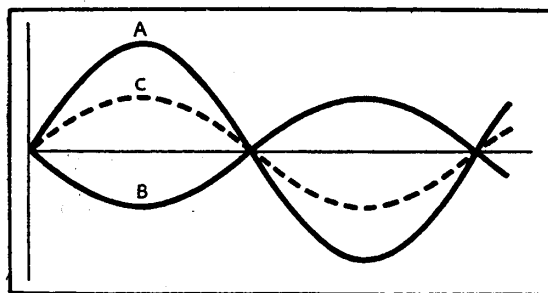



Fig. 292.

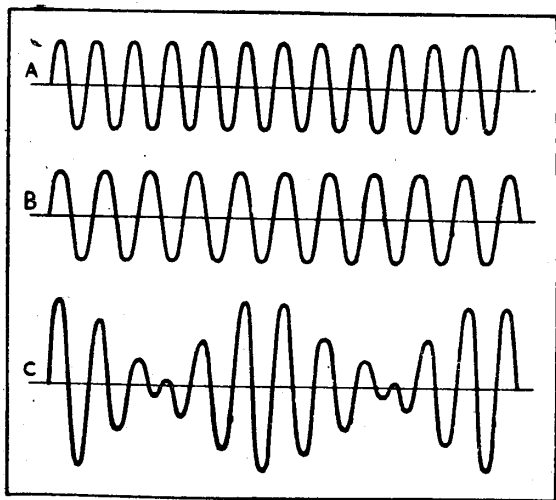
Ne risulta un' oscillazione complessa, caratterizzata dal fatto che essa non si mantiene di ampiezza costante, come nel caso di un' oscillazione semplice, ma varia continuamente e periodicamente fra un massimo ed un minimo di ampiezza. La frequenza di tali variazioni periodiche è determinata dalla successione dei tempi in cui le due oscillazioni componenti sono in fase oppure in opposizione, e dipende quindi dalla differenza che esiste tra le frequenze delle due componenti. Se le due oscillazioni sono pressapoco della stessa frequenza, esse si manterranno per molte oscillazioni pressochè in fase, o pressochè in opposizione di fase, e quindi dovranno aversi molte oscillazioni, prima che l'ampiezza della risultante cambi sensibilmente. Al contrario, se le due frequenze differiscono di molto, le

oscillazioni saranno molto spesso in fase od in opposizione, e le variazioni di ampiezza della risultante si succederanno con grande frequenza.

Il crescere ed il diminuire periodico dell'ampiezza della oscillazione risultante costituisce il fenomeno dei *battimenti*, che si verifica non solo per le onde e. m. e per le correnti oscillanti, ma anche per le onde sonore, per quelle luminose ed in genere per tutti i fenomeni oscillatori.

Fig. 293.

Se le frequenze componenti sono poco differenti fra di loro, si dimostra che la frequenza dell'oscillazione risultante è compresa tra le frequenze delle oscillazioni componenti, e che la frequenza dei battimenti è misurata precisamente dalla differenza tra le dette due frequenze.

La fig. 293 rappresenta in A ed in B le due oscillazioni componenti, di frequenza leggermente diversa. La curva A contiene 6 periodi, mentre quella B, nello stesso intervallo, contiene 5 periodi, e l'oscillazione risultante C a battimenti ne contiene 5,5, e cioè precisamente nello stesso tempo vi ha un battimento completo (intervallo fra due massimi). Se T è l'intervallo di tempo considerato, i periodi delle due oscillazioni sono rispettivamente T/5 e T/6 e quello del battimento è T/1; le frequenze sono $\frac{5}{T}$, $\frac{6}{T}$ e $\frac{1}{T}$, e si ha precisamente

$$\frac{1}{T} = \frac{6}{T} - \frac{5}{T}.$$

281. - Meccanismo della rivelazione delle o. p. — Se si fa interferire nel circuito ricevente la corrente oscillante provocata dalle onde e. m. che incidono sull'aereo con una corrente oscillante prodotta localmente da un piccolo generatore ad o. p., che abbia una frequenza poco diversa dalla prima, si otterrà, come risultante, una corrente oscillante di ampiezza non più costante, ma comprendente dei battimenti, la cui frequenza è uguale alla differenza delle due frequenze componenti. Variando la frequenza della oscillazione locale, mentre quella della oscillazione in arrivo rimane costante, la frequenza dei battimenti può assumere qualsiasi valore a piacimento. Ciò si ottiene semplicemente modificando o il valore della capacità o quello dell'induttanza del circuito oscillante del generatore, in modo da cambiarne la frequenza in maniera continua, fino ad ottenere che la frequenza dei battimenti sia compresa negli udibili.

Sarà detto in seguito come si possono far interferire le due oscillazioni; per ora basterà rilevare che, se si fa passare una corrente a battimenti, risultante di due oscillazioni persistenti, nel circuito di un telefono, non si ottiene ancora il suono, anche se i battimenti hanno frequenza udibile, e ciò perchè la frequenza della oscillazione risultante che comanda il telefono è ancora inudibile. Affinchè il diaframma del telefono possa vibrare con frequenza udibile, occorre infatti che venga separata dalla oscillazione risultante la frequenza udibile dei battimenti, e ciò mediante l'inserzione di un raddrizzatore o di un dispositivo equivalente. Questo, permettendo il passaggio della corrente prevalentemente in una direzione (fig. 294 riga *d)*, ha appunto la funzione di scomporre la corrente di radiofrequenza, ma di ampiezza variante con audiofrequenza, (quale è quella che si ottiene dai battimenti), nella somma di varie correnti di cui

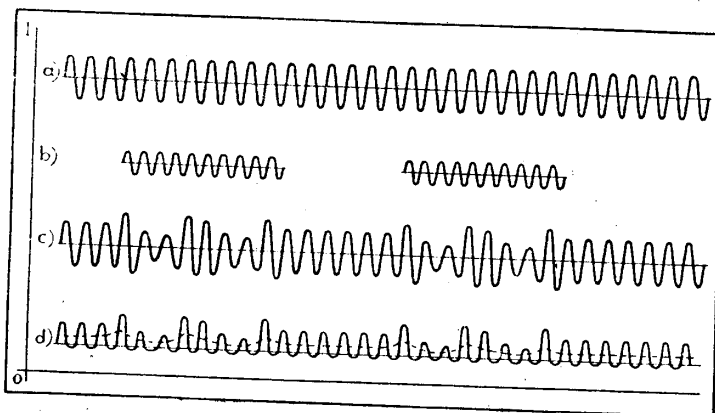



Fig. 294.

una ha precisamente la frequenza (udibile) dei battimenti, e fa quindi vibrare la laminetta del telefono in modo udibile. Senza un tale raddrizzamento, la lamina sarebbe bensì soggetta a successive deboli attrazioni e repulsioni di differente intensità; ma queste si succederebbero con la stessa frequenza delle successive alternazioni della corrente oscillante; e poichè queste sono di frequenza ultraudibile, l'orecchio non potrebbe percepirle. Il fenomeno è illustrato nella figura suddetta, che rappresenta nella linea *d)* la corrente a battimenti raddrizzata, risultante dalla composizione della corrente *a)* locale e della corrente *b)* ricevuta dall'aereo, e che corrisponde alla trasmissione della lettera i (. .).

La corrente a battimenti *c)* è di ampiezza variabile ma di frequenza ultraudibile. La *d)* ottenuta dopo il raddrizzamento risulta dalla somma di una corrente ultraudibile come la precedente, e di una (punteggiata) di frequenza udibile. La prima passerà di norma attraverso la capacità propria del telefono senza attraversarne l'avvolgimento; la seconda, per la sua frequenza enormemente minore, passerà invece nel telefono. Il diaframma di questo vibrerà per le successive

variazioni di detta corrente; la tonalità del suono ottenuto avrà perciò la frequenza dei battimenti. Si può variare detta tonalità modificando la frequenza della corrente oscillante locale che, interferendo con quella in arrivo, determina i battimenti.

Anche in questo caso dunque, il fenomeno della rivelazione consiste essenzialmente nella scomposizione di una corrente di radiofrequenza (ma di ampiezza variabile con audiofrequenza), nella somma di varie correnti, di cui generalmente una sarà continua, una di audiofrequenza ed una di radiofrequenza; queste tre correnti circolano contemporaneamente nel circuito del telefono; si tratta quindi di dividerle, offrendo loro diverse strade: una strada contenente sola induttanza ostacolerà specialmente la corrente di radiofrequenza, ma lascierà passare la corrente continua e quella di audiofrequenza: una strada, contenente sola capacità, ostacolerà specialmente la corrente continua, e quella di audiofrequenza, ma farà passare quella di radiofrequenza. La prima strada sarà data dal telefono o dal primario di un trasformatore telefonico, che sarà così percorso dalla frequenza udibile; la seconda sarà data da un condensatore messo in parallelo sul telefono o dalla capacità propria del telefono. Nel resto del circuito le tre correnti passeranno insieme.

282. - Intensità e tonalità del suono nel telefono. — Il suono che si ottiene nel telefono é tanto più forte quanto più grande è la componente di audiofrequenza, cioè quanto maggiore è la differenza tra l'ampiezza massima e l'ampiezza minima della corrente a battimenti. Ora si deve considerare che le variazioni nell' ampiezza della corrente a battimenti sono provocate dalla corrente ricevuta che, successivamente aggiungendosi e sottraendosi a quella locale, determina i massimi ed i minimi dei battimenti. La forza del suono sarà quindi maggiore se è maggiore l' ampiezza della corrente ricevuta dall' aereo. Anche l' ampiezza della oscillazione locale influisce però sulla intensità del suono, essendo più vantaggiosa una grande ampiezza di tale oscillazione che una piccola; e ciò perchè la curva caratteristica dei rivelatori ha un andamento rapidamente crescente, e quindi fornisce variazioni più ampie quando le stesse variazioni sono apportate su tensioni applicate più alte.

Lo stesso suono è poi tanto più acuto quanto più alta è la frequenza dei battimenti. E poichè quest' ultima può essere variata a piacimento, essendo sufficiente modificare la frequenza della corrente oscillante locale (curva *a* della fig. 294), così si potrà avere un suono di tono qualsiasi, dal più basso al più alto, fino anche a raggiungere la frequenza degli ultraudibili.

In pratica, i suoni molto acuti, per quanto udibili, non lo sono in modo soddisfacente, cosicchè si può ritenere che in un telefono normale sarà difficile percepire bene un suono di frequenza superiore a 3.000, a meno che l' intensità del suono stesso sia molto forte. Ne segue che la frequenza dei battimenti, cioè la differenza tra frequenza ricevuta e frequenza locale, non dovrà superare tale numero. Ad esempio, se si è in ricezione su un'onda di 600 metri, che ha

la frequenza 500.000 (frequenza *b*), la corrente locale (*a*) deve avere una frequenza compresa fra 500.000 + 3.000 e 500.000 — 3.000; e cioè fra 503.000 e 497.000. Supposto che all'inizio della regolazione il circuito oscillante del piccolo generatore locale a valvola abbia frequenza superiore a 503.000, modificando il valore della capacità allo scopo di ridurne man mano la frequenza, si raggiungerà ad un certo istante il valore limite superiore (503.000), e cioè si entrerà dagli ultraudibili negli udibili, e si incomincerà a sentire nel telefono un suono a nota acuta, la quale si abbasserà continuamente, seguendo le variazioni della capacità. Quando la corrente locale avrà esattamente la frequenza 500.000, e cioè sarà in perfetto accordo con l'onda da ricevere, le due correnti componenti, quella oscillante locale e quella oscillante di aereo, daranno luogo ad una corrente risultante senza battimenti; non si avrà alcun suono nel telefono. Continuando a variare nello stesso senso la capacità del condensatore locale si ritornerà a sentire nel telefono un suono, che sarà questa volta di tonalità continuamente crescente dal valore più basso fino al valore massimo 3.000 (il quale si avrà quando la corrente oscillante avrà frequenza 497.000); dopo di che il suono sparirà gradatamente un'altra volta, poichè la vibrazione sarà rientrata negli ultraudibili.

È reso in tal modo possibile di ottenere nel telefono il suono più gradevole ed efficiente per il proprio udito; ed anche di variare tale suono dopo una certa durata di ricezione, portandolo su un altro tono, così da non affaticare l'orecchio. A questo proposito la pratica ha dimostrato che il suono che non stanca troppo, anche per un tempo piuttosto lungo, è quello compreso pressapoco fra le 600 e le 1000 vibrazioni al secondo.

283. - Selezione acustica nella ricezione di o. p. — La ricezione delle segnalazioni radiotelegrafiche ad onde persistenti, fatta utilizzando il fenomeno dell'interferenza, cioè la produzione dei battimenti (come si è accennato ai numeri precedenti), fornisce un modo di selezione delle trasmissioni, che, specie per le onde non lunghissime, può essere molto più efficace di quello elettrico considerato al nr. 264. Se infatti si tiene presente che la tonalità della ricezione è data dalla differenza di frequenza tra la oscillazione in arrivo e quella locale, si deduce che una seconda oscillazione (intrusa), che giunga al ricevitore, e che abbia una frequenza non esattamente identica a quella che si vuol ricevere, componendosi, come questa, con la oscillazione locale, darà luogo ad una seconda tonalità di battimento, differente da quella che viene determinata dall'onda che si riceve. E poichè è in facoltà dell'operatore di variare la frequenza dell'oscillazione locale, egli potrà sempre regolare questa in modo che la oscillazione che vuol ricevere acquisti una tonalità che sia acusticamente più efficace della intrusa, cosicchè possa seguire quella, trascurando questa. Naturalmente questo metodo riesce tanto più efficace quanto maggiore è la differenza di frequenza tra le due oscillazioni in arrivo. Se poi questa differenza supera il valore di 3000 periodi, l'operatore, ottenendo la oscillazione cercata su una tonalità udibile, potrà avere l'altra con tonalità superiore di 3000 periodi a questa, e quindi praticamente inudibile.

L'importanza di questo metodo sta in ciò che esso dà un risultato pratico indipendentemente dalla forza dei segnali, inquantochè, se anche la trasmissione intrusa è più forte di quella cercata, essa risulta egualmente inudibile quando la sua frequenza differisce di oltre 3000 periodi da quella locale. Un segnale che con la sola selezione elettrica sarebbe ancora disturbato, non lo sarà più per effetto dell'eliminazione acustica. Ciò vale specialmente per le onde più corte. Se infatti si suppone ad es. di essere in ricezione su un'onda di 500 metri con un ricevitore avente un decremento di 0,02, un'onda di 502,50, che differisce, in frequenza, di 3000 periodi da quella di 500 metri, risulterà praticamente inudibile, qualunque sia la sua forza, in virtù della selezione acustica ora detta; mentre se essa giungesse con la stessa forza dell'onda 500, produrrebbe nel ricevitore, per la sola selezione elettrica, una corrente che sarebbe ancora il 53 % di quella dovuta alla onda 500, e senza la selezione acustica essa sarebbe quindi di grande disturbo. Ricevendo invece con lo stesso decremento un'onda di 20.000 m., l'onda di 21.000 disturberebbe ancora acusticamente, perchè la sua frequenza differisce di solo 800 periodi dall'onda 20.000 (dunque scarsa selezione acustica); mentre per selezione elettrica essa, giungendo con la stessa forza dell'onda 20.000, darebbe una corrente nel ricevitore appena il 6 % di quella dovuta all'onda 20.000. Dunque, ricevendo su l'onda di 500 metri la selezione acustica elimina il disturbo di una ricezione che non sarebbe eliminabile elettricamente, poichè darebbe ancora una forza di ricezione metà della ricezione desiderata; mentre ricevendo su 20.000 metri la selezione elettrica elimina un disturbo che la sola selezione acustica non avrebbe potuto eliminare. Per onde inferiori a 500 metri, l'efficacia della selezione acustica aumenta ancora, a misura che diminuisce l'onda.

Come altro esempio di selezione acustica, si supponga di essere in ascolto su un'onda di 600 m. (n = 500,000) e di ricevere con nota 522 (do_3) dovuta all'interferenza 500.522-500.000; si supponga inoltre che in un certo istante arrivi sull'aereo un'onda intrusa di m. 601. Poichè la frequenza di quest'ultima è 499.168, essa, interferendo con l'oscillazione locale di frequenza 500.522, darà luogo ad una nota di tonalità 1354 (compresa fra mi_4 e fa_4); nel telefono si sentiranno quindi le due trasmissioni con note ben distinte di tono, per modo che sarà facile la selezione acustica.

Se la ricezione non fosse possibile neppure in tali condizioni, ad esempio perchè la oscillazione intrusa è più forte di quella da ricevere, si potrà variare la frequenza della oscillazione locale, ed ottenere ad esempio di far scomparire del tutto la trasmissione di 601 m., dando alla oscillazione locale la frequenza di questa ultima e cioè 499.168; in tal caso l'onda di 600 m. verrà ricevuta con tonalità 500.000-499.168 = 832 (circa la_3), e l'onda di 601 m., avendo la stessa frequenza dell'onda locale, non produrrà alcun suono.

La stessa cosa si potrebbe ripetere se la trasmissione che disturba avesse lunghezza d'onda 599 m., alla quale corrisponde la frequenza di 500.833.

Da questi esempi risulta come un poco di abilità nel maneggiare l'oscillatore locale permetta la selezione acustica anche di onde che differiscono meno di 3000 periodi dall'onda che si desidera ricevere.

CAPITOLO XIX.

Rivelatori a valvola.

284. - RIVELAZIONE PER CARATTERISTICA DI PLACCA O ANODICA. — Della valvola a due elettrodi come rivelatrice è stato detto al n. 142 ; si tratterà ora della rivelazione con i triodi.

Se la tensione base a cui si mantiene la griglia di una valvola corrisponde al gomito inferiore od a quello superiore della sua caratteristica (valori segnati

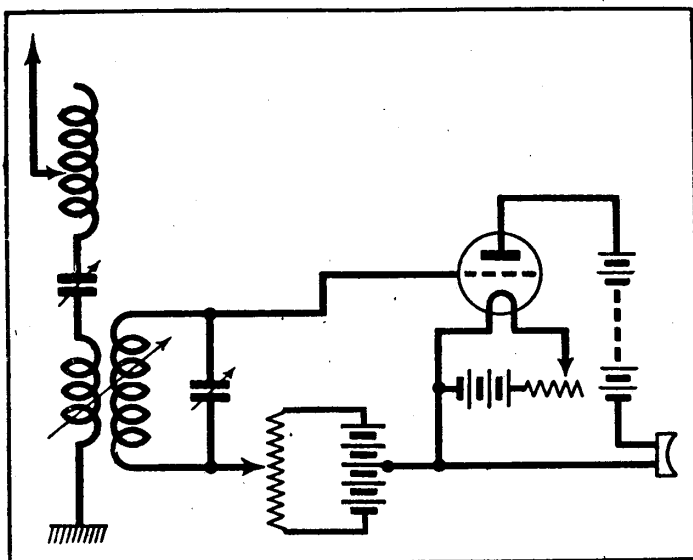



Fig. 295.

con R_s e R_i alla fig. 176 parag. 152), la valvola diventa rivelatrice. Infatti, se la tensione fondamentale di griglia è quella R_i (a cui corrisponde nel circuito di placca una certa intensità di corrente), a causa della dissimmetria della caratteristica rispetto al gomito inferiore, le variazioni in aumento del potenziale base produrranno aumenti notevoli nella intensità della corrente di placca rispetto all'in-

tensità base, mentre le variazioni in diminuzione di tale potenziale daranno luogo a diminuzioni minori rispetto alla stessa intensità base.

Ne segue che il circuito di placca diventa sede di treni di corrente oscillante deformati, analogamente a quanto si aveva con la rivelazione a cristallo.

Il potenziale base ora considerato dev' essere stabilito con una certa accuratezza, poichè la efficenza della rettificazione varia da punto a punto della caratteristica; si ricorre perciò ad un potenziometro od almeno ad una batteria di pile regolabile sul circuito di griglia, come è rappresentato nella figura 295, in cui la valvola è raffigurata collegata ad un circuito oscillante secondario, accoppiato ad un aereo.

Fig. 296.

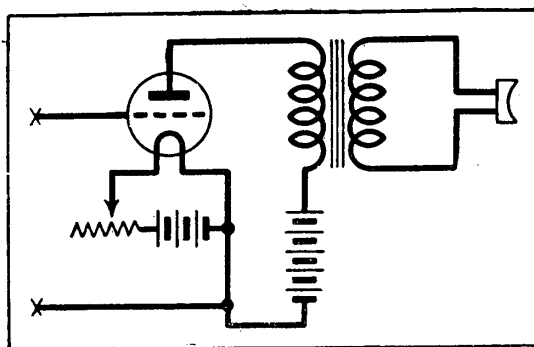
Per formarsi un concetto dell'azione di raddrizzamento delle valvole si può considerare la fig. 296, dove in corrispondenza della tensione R_i è rappresentata l'aggiunta di una tensione alternata V_g. Nel circuito di placca la corrente relativa assume la forma della curva alternata I, la quale è in tutto analoga a quella della figura 289, riferentesi al raddrizzamento a mezzo del carborundum. La tensione alternata applicata alla griglia ha dunque generato nel circuito di placca una corrente dissimetrica, la quale può ritenersi costituita dalla corrente continua I_2, comprendente una parte I_1 che si è aggiunta a quella I_0 che si aveva prima della oscillazione, e della corrente alternata I. Se questa ha una frequenza ultraudibile, come quella delle onde e. m., mettendo un telefono nel circuito di placca, essa non vi produce alcun suono udibile. La corrente I_1 invece rappresenta un aumento della corrente continua che si è aggiunta alla precedente I_0, ed è quella che determina una variazione nella attrazione della lamina vibrante, la quale dura finchè dura la oscillazione, come già si disse al nr. 278.

Se la tensione base di griglia si porta al valore R_s, il comportamento della valvola è analogo a quello ora visto; la sola differenza sta nel fatto che la griglia

deve avere un potenziale elevato; che di conseguenza si ha una maggior corrente di base nel circuito oscillante di placca, e che l'effetto di una tensione variabile applicata alla griglia sarà quello di diminuire l'intensità della corrente anodica, anzichè di aumentarla, come nel caso del valore fondamentale R_i della tensione, in quanto le variazioni in aumento del potenziale cadono sulle parte orizzontale della caratteristica (verso la saturazione); mentre quelle in diminuzione cadono sulla parte ripida. Tale funzionamento richiede una tensione positiva di griglia, talvolta anche abbastanza elevata, e scarica più rapidamente la batteria di placca; non è quindi conveniente.

Quando l'oscillazione da rivelare è molto debole, allora essa può risultare compresa tutta in un piccolo tratto del gomito della curva; cosicchè la variazione della corrente di placca rispetto alla intensità base riesce simmetrica o quasi; la rivelazione può quindi essere insufficiente. In tal caso è necessario amplificare prima la oscillazione.

Fig. 297.

285. - APPLICAZIONE DELLA RIVELAZIONE - RICEVITORE A VALVOLA. — Nel caso di oscillazioni smorzate, queste si susseguono in gruppi che si spengono rapidamente, e fra un gruppo e l'altro vi è un istante di riposo; la lamina viene quindi attratta tante volte quanti sono i gruppi di oscillazione, e poichè questi sono di frequenza udibile, si ha un suono, come si è già spiegato. Nel caso delle oscillazioni persistenti, si è visto al nr. 280 come dalla interferenza delle oscillazioni ricevute con quelle locali si generino battimenti a frequenza udibile, paragonabili ai treni di oscillazione delle o. s. Il raddrizzamento di questi battimenti darà quindi luogo ad un suono udibile, di cui la forza dipende dalla ampiezza dei battimenti, e la tonalità dalla loro frequenza.

Se nel circuito di placca di una valvola rivelatrice si inserisce il telefono, in serie con la batteria di placca, si ha il tipo più semplice di ricevitore a valvola, bastando, per completarlo, accoppiare al circuito oscillante interno un circuito d'aereo munito, come al solito, di capacità e di induttanza variabili (vedi fig. 295). Per quanto si disse al nr. 256, il telefono deve essere ad alta resistenza, cioè di resistenza paragonabile a quella del tratto filamento-placca, che è sempre alta.

Talvolta, ad evitare che il telefono sia inserito nel circuito di placca, che ha una tensione piuttosto elevata, come è quella della batteria anodica, il che può esser causa di scosse all'operatore, si può adottare un trasformatore telefonico a nucleo di ferro, di cui il primario sia sul circuito di placca (fig. 297). In

questo caso, il trasformatore può ridurre la tensione, aumentando l'intensità della corrente, cosicchè il numero di ampere-spire occorrenti per la migliore attrazione della lamina si avrà con un avvolgimento di un numero minore di spire, e quindi con un telefono a bassa resistenza.

286. - RIVELAZIONE PER CARATTERISTICA DI GRIGLIA. — Se sul circuito di griglia si dispone un condensatore di piccola capacità, detto condensatore di griglia, shuntato con un' alta resistenza (fig. 298), la rettificazione è assicurata in modo anche più efficiente di quanto non avvenga con la batteria di griglia. Il funzionamento del condensatore shuntato di griglia può così spiegarsi sommariamente.

Supponiamo dapprima che non vi sia alcuna f. e. m. alternata applicata alla griglia. La griglia, essendo collegata al positivo B del filamento (fig. 299), riceve un certo flusso elettronico dai punti del filamento che sono a potenziale più basso. Si produce così un flusso permanente, cioè una piccola corrente continua i_g, che attraversa la resistenza di dispersione. Agli estremi di questa, e quindi del condensatore, si produce una caduta di potenziale Ri_g, che va in diminuzione della differenza di potenziale esistente tra gli estremi positivo e negativo del filamento; in altre parole la griglia, pur essendo collegata al polo positivo B del filamento, non ne ha esattamente lo stesso potenziale, perchè la piccola corrente di griglia che attraversa la R produce una piccola caduta che diminuisce tale potenziale. Il potenziale della griglia rispetto al negativo del filamento è quindi di poco inferiore a quello dell'estremo positivo del filamento.

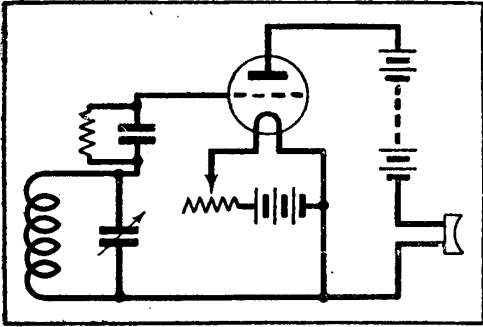



Fig. 298.

Delle due armature del condensatore C, quella collegata alla griglia è dunque ad un potenziale leggermente più negativo di quella collegata al positivo del filamento, e precisamente, la d. d. p. tra le armature è uguale alla caduta Ri_g attraverso alla resistenza di dispersione.

Se ora si applica tra filamento e griglia una f. e. m. alternata di radiofrequenza E_g (che supporremo radiofonica, o smorzata, o a battimenti), essa farà variare il potenziale di M rispetto a B, ad es. come è indicato nella figura dalla curva V_m. Inoltre la corrente che essa determina nel circuito di griglia sarà molto piccola, perchè essendo piccolissima la capacità filamento-griglia, la relativa reattanza sarà molto grande e ad ogni modo molto più grande della reattanza del condensatore C e *della bobina di accoppiamento.*

Agli effetti della f. e. m. E_g, il circuito si comporta perciò pressapoco come se fosse aperto, e così la d. d. p. E_g si troverà quasi intatta agli estremi del

circuito aperto, cioè precisamente tra filamento e griglia, solo diminuita della caduta di tensione attraverso la resistenza R, determinata dalla corrente elet-

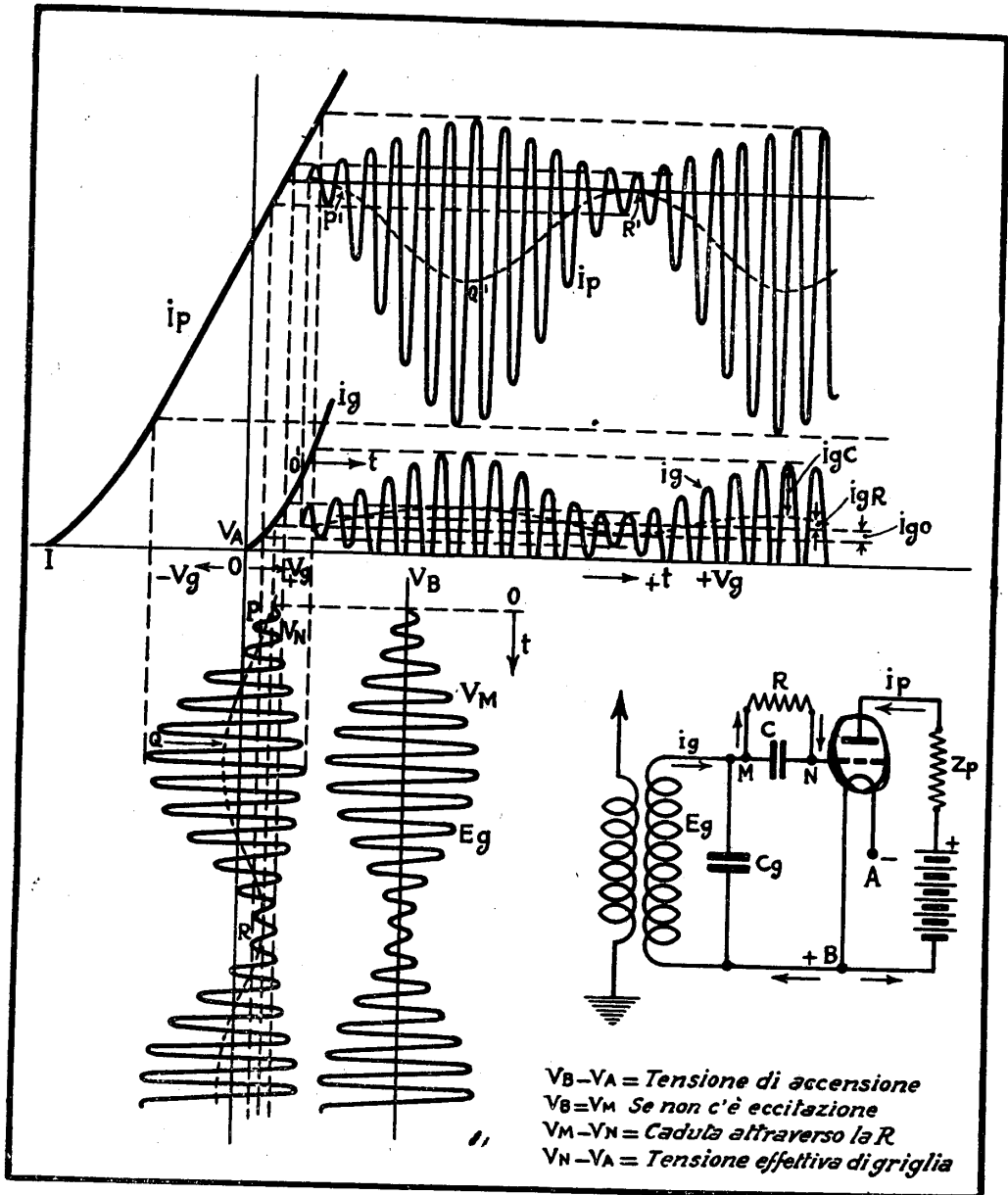



Fig. 299.

tronica i_g, perchè essa è disposta in serie con la E_g. Il potenziale della griglia (punto N) rispetto al negativo (A) del filamento sarà dunque pressapoco quello E_g, solo diminuito della Ri_g.

Ad ogni alternanza positiva della E_g, la griglia, diventando momentaneamente più positiva rispetto al filamento, riceverà un flusso supplementare di elettroni che si raccoglieranno sulla armatura del condensatore C collegato alla griglia stessa, e con ciò il suo potenziale, rispetto all'altra armatura del condensatore, collegata al polo positivo del filamento, risulterà più negativo di prima.

Ma le due armature del condensatore sono collegate tra loro dalla resistenza R; attraverso a questa si stabilirà quindi una corrente maggiore di quella iniziale i_g, che tenderà a scaricare o a disperdere gli elettroni supplementari raccolti dalla griglia per effetto della f. e. m. applicata.

Ora se la resistenza R è sufficientemente alta, può avvenire che la corrente così stabilita non sia sufficiente a scaricare tutti gli elettroni raccolti dalla griglia, prima che la griglia stessa, per effetto della successiva alternanza positiva della tensione E_g di a. f. applicata, ridiventi positiva e raccolga altri elettroni. Se questo è il caso, evidentemente la carica negativa della griglia, e il relativo potenziale negativo andrà aumentando ad ogni periodo. Ora dall'aumento di questo potenziale negativo della griglia, che chiameremo *potenziale medio* perchè dovuto agli elettroni raccolti nel condensatore e ivi trattenuti dalla resistenza R, e quindi solo lentamente variabile, derivano due conseguenze. La prima è che le alternazioni positive della f. e. m. applicata alla griglia, sovrapponendosi a potenziali sempre più negativi della griglia stessa, riusciranno a sorpassarli per un tratto sempre più piccolo del periodo, cosicchè diminuendo il tempo in cui la griglia è positiva, il flusso elettronico supplementare da essa raccolto andrà diminuendo. La seconda è che risultando aumentata anche la d. d. p. tra le armature del condensatore, aumenterà pure la corrente di scarica dello stesso. Dunque l'aumento del potenziale negativo medio della griglia verrà automaticamente frenato dalle conseguenti minore raccolta di altri elettroni e maggiore dispersione dei medesimi. Il potenziale medio di griglia prenderà quindi un valore stabile quando esso sarà giusto tanto negativo che, in ogni periodo, la corrente di dispersione che esso determina attraverso alla resistenza R, sia appunto capace di scaricare gli elettroni raccolti dalla griglia nella alternanza positiva della f. e. m. applicata E_g.

Se la E_g è di grande ampiezza, il potenziale di griglia dovrà diventare molto negativo, prima che si abbia l'effetto frenante suddetto; e l'opposto succede naturalmente se la E_g è piccola. Il potenziale medio della griglia diventa dunque tanto più negativo quanto maggiore è l'ampiezza della E_g.

Se questa avesse ampiezza costante (caso delle emissioni persistenti), il potenziale medio di griglia finirebbe per assumere, dopo varie alternazioni, un valore fisso, proporzionato alla ampiezza della E_g. Nel caso invece delle emissioni radiofoniche, o smorzate, o modulate a bassa frequenza, l'ampiezza della E_g è variabile, però la variazione della ampiezza è molto lenta rispetto alle alternazioni di radiofrequenza della E_g stessa. Le variazioni di ampiezza avvengono infatti con frequenza acustica, che è enormemente più lenta delle frequenze radio con le quali si succedono le alternanze della E_g. La griglia ha quindi tutto il tempo

anche nel caso delle onde non persistenti, per assumere di volta in volta, dopo molte alternazioni della E_g, il potenziale medio corrispondente alla ampiezza della E_g stessa, quasi come se questa fosse costante. In queste condizioni dunque il potenziale medio della griglia segue queste relativamente lente variazioni di ampiezza della E_g, ed il suo andamento assume la forma rappresentata dalla curva P Q R... Corrispondentemente la corrente media di placca segue l'andamento P' Q' R'..., il quale riproduce le variazioni di ampiezza della E_g e quindi della emissione da ricevere: riproduce cioè la bassa frequenza di modulazione, o dei battimenti, o dei treni d'onda. Sulla placca viene così separata l'alta dalla bassa frequenza, ed in ciò consiste la rivelazione, come si è visto ai nr. 278 e 281.

È da notare che lo stesso effetto rivelatore si ha anche nella corrente di griglia, come è naturale, dato la forma della caratteristica della corrente stessa. La successione degli impulsi della corrente i_g, come risultano dalla figura, mostra infatti una deformazione equivalente ad una variazione della corrente elettronica media. La corrente complessiva i_g, dovuta al flusso elettronico, è cioè suscettibile di essere scomposta in tre componenti (i_{go}, i_{gr}, i_{gc}), di cui la prima continua, la seconda di audiofrequenza, e la terza di radiofrequenza; le prime due passano per la resistenza R, la terza per il condensatore C. Nella corrente di placca raddrizzata, come già si è visto nel caso del raddrizzamento con i cristalli, la parte di radiofrequenza passa per la capacità propria del telefono o per gli appositi condensatori su di esso derivati, mentre la parte continua e quella di audiofrequenza passano pel telefono, e riproducono il suono che rivela i segnali.

Se la resistenza R di dispersione fosse tanto grande da far ritenere le due armature del condensatore come isolate, allora le successive cariche elettroniche, arrivate durante le alternanze positive della f. e. m. E_g, rimarrebbero sull'armatura del condensatore collegata alla griglia, ed il potenziale di tale elettrodo si abbasserebbe molto rapidamente, fino a raggiungere presto un valore tanto negativo che, anche nelle alternanze positive della E_g, la griglia non diventerebbe più positiva; queste cariche negative accumulate sulla armatura del condensatore, senza possibilità di dispersione, finirebbero dunque per bloccare la valvola, annullando o riducendo di molto la corrente di placca.

Se invece si disponesse una resistenza R molto piccola, allora le cariche provenienti dalla griglia durante le alternanze positive sarebbero rapidamente disperse, ed il potenziale medio della griglia rimarrebbe sempre allo stesso valore iniziale. Così pure avverrebbe per quello della placca. e di conseguenza non si avrebbe alcuna variazione sulla corrente media della placca; cioè mancherebbe completamente o quasi la corrente rivelata, rappresentata appunto, come si disse, dalle variazioni della corrente media di placca. La resistenza di dispersione deve perciò essere nè troppo grande, per non bloccare la valvola, nè troppo piccola per non annullare l'effetto rettificante.

Con il dispositivo del condensatore di griglia si usano generalmente capacità dell' ordine di 0,3 mμF e resistenze dell' ordine di un megaohm (1). Il circuito di griglia fa capo al polo positivo del filamento, perchè in tal modo la corrente di placca a riposo è un poco elevata, e la diminuzione provocata dalle oscillazioni è più sentita.

Il disperdersi della carica negativa della griglia dipende anche dal grado di vuoto della valvola. Infatti se esso non è molto spinto, allora gli ioni positivi, che vengono generati per l' urto degli elettroni sugli atomi dal gas residuo, si dirigono sulla griglia che è negativa, e ne neutralizzano la carica. Così la dispersione è rapida, e l'effetto rettificatore ne riesce diminuito. Nel caso di vuoto molto spinto, mancando la corrente di ioni, la scarica avverrebbe molto lentamente, e si può regolare con la scelta della resistenza di dispersione, in modo da avere il massimo effetto rivelatore.

Nella rivelazione con condensatore shuntato di griglia la corrente di griglia non è nulla e la tensione base di griglia è positiva rispetto al filamento; la valvola funziona quindi sull'inizio della parte ripida della caratteristica di placca, che in genere corrisponde appunto alle tensioni di griglia leggermente positive. Perciò le variazioni di potenziale medio della griglia si traducono in variazioni della corrente media di placca più ampie di quelle che si avrebbero con la griglia al potenziale base R_i di ricezione. Il sistema del condensatore shuntato con resistenza di dispersione è quindi più efficiente di quello a rettificazione anodica, e serve specialmente quando i segnali sono deboli; esso è perciò molto usato.

Un difetto di tale sistema sta nel fatto che, nel caso di forti scariche atmosferiche o di forti trasmissioni vicine, la carica negativa del condensatore può diventare tanto rilevante, da richiedere un certo tempo prima che se ne completi la scarica, e durante tale tempo la ricezione è completamente soffocata. Si è proposto perciò di shuntare il condensatore con un cristallino a conduttività unilaterale (2), disponendolo in modo che offra il passaggio alle correnti di scarica del condensatore, e non conduca nel senso della carica, agevolando così questa. Questa disposizione però non è molto usata nella pratica corrente, probabilmente per la instabilità di funzionamento del cristallino. Un altro difetto della rivelazione col condensatore shuntato di griglia dipende dal fatto che la corrente di griglia, non essendo nulla, costituisce una dispersione fra le armature del condensatore di accordo, il che diminuisce la selettività del circuito d'accordo stesso.

---

(1) La scelta di questi valori dipende anche dalle seguenti considerazioni: Il condensatore C deve offrire una piccolissima impedenza per le oscillazioni radio, in modo che queste possano raggiungere la griglia senza attenuazione. La resistenza R dev' essere abbastanza grande affinchè il condensatore non possa scaricarsi sensibilmente durante le oscillazioni radio; e non troppo grande, affinché la scarica possa seguire bene le variazioni di ampiezza, che avvengono con frequenza acustica.

(2) Circuito Bardeloni, con carborundum.

287. - EFFICENZA DELLA VALVOLA COME RIVELATORE. — La valvola a tre elettrodi è molto più efficiente di quella di Fleming nella rivelazione delle oscillazioni elettriche.

Nel caso della valvola a due elettrodi il circuito del telefono è derivato sul circuito oscillante secondario, per modo che esso funziona come un passaggio per le correnti oscillanti, durante la metà positiva di ogni oscillazione. Ciò si traduce in un maggiore smorzamento del circuito secondario, che ha per effetto una riduzione nell' acuità di sintonia.

Nel caso della valvola a tre elettrodi, la corrente raddrizzata che percorre il telefono è alimentata da una sorgente locale, indipendentemente dalla energia contenuta nel circuito oscillante secondario; e questo non è messo in corto circuito dal circuito di placca della valvola, in quanto nel circuito di griglia, al quale è collegato il circuito oscillante secondario, passa una corrente molto piccola in confronto di quella che si ha invece in una valvola Fleming, e la sua influenza dannosa è molto ridotta. Adottando la rivelazione anodica si può scegliere la valvola in modo che il punto di rivelazione inferiore sia abbastanza a sinistra dell' inizio della caratteristica di griglia; non essendoci così alcuna corrente di griglia, resta evitata ogni perdita di corrente nel circuito oscillante e questo funziona con il proprio smorzamento naturale, che può essere molto piccolo. Sarà così maggiore la corrente oscillante e l' intensità della ricezione, nonchè l' acuità di risonanza, e quindi la selettività.

Con la rivelazione a condensatore shuntato con resistenza di dispersione, la corrente di griglia non si può eliminare; quindi questo tipo di rivelazione, se è più sensibile di quello di placca, ne è però meno selettivo, perchè introduce una dispersione nel circuito oscillante, che si traduce in un aumento dello smorzamento, e quindi in un appiattimento della curva di risonanza, con diminuzione cioè di selettività.

288. - RICEZIONE CON ETERODINA. — Al capitolo XVIII si è già spiegato il meccanismo della rivelazione delle onde persistenti e la necessità di comporre l'oscillazione provocata dalle onde in arrivo con quella data da un generatore locale, opportunamente accoppiato al ricevitore; l' interferenza produce una oscillazione a battimenti, che viene poi raddrizzata dal rivelatore.

Il generatore locale di oscillazioni persistenti è un piccolo trasmettitore a valvola, che impiega valvole di ricezione, e che prende il nome di eterodina (forza esterna). La disposizione degli apparecchi è schematizzata nella fig. 300, dove E è la eterodina, con V_g valvola generatrice; R è il ricevitore. L'accoppiamento fra eterodina ed aereo, necessario per indurre su questo l'oscillazione che deve interferire con quella in arrivo, si ottiene a mezzo dell' induttanza del circuito oscillante della eterodina e del primario del jigger dell'aereo; esso può però pure disporsi fra l' induttanza dell'eterodina e il secondario del jigger del circuito oscillante chiuso, se il ricevitore è a circuiti accoppiati, ed anche meglio accoppiando l' induttanza della eterodina con una bobina nel cir-

cuito filamento griglia della prima valvola. L'accoppiamento può essere più o meno stretto, a seconda l'ampiezza delle oscillazioni da rivelare e l'intensità di suono che si desidera avere al telefono; è bene però che non sia troppo stretto, ad evitare che l'aereo si carichi e diventi a sua volta irradiante. L'interferenza avviene o sul circuito d'aereo o su quello secondario, in dipendenza dell'accoppiamento della eterodina, preferibilmente però sul secondario.

L'oscillazione locale deve potersi modificare, per variare la frequenza dei battimenti, e quindi la tonalità del suono. Ciò si ottiene col condensatore C_1, variabile; e poichè quando la frequenza dell'oscillazione locale è precisamente uguale a quella dell'oscillazione da rivelare, i battimenti sono nulli, e manca il

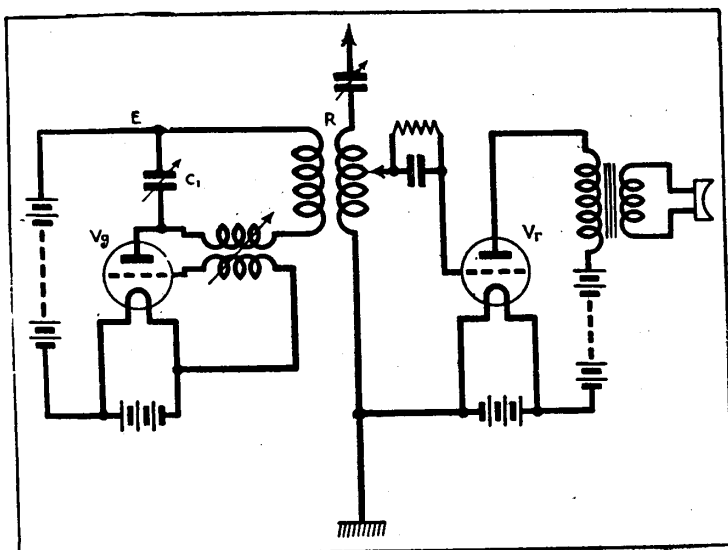



Fig. 300.

suono nel telefono, così si avrà il perfetto accordo dell'eterodina con l'oscillazione incidente quando non si sentirà nulla nel telefono, mentre si sentirà quando si varierà di poco il valore della capacità C_1 in aumento e in diminuzione rispetto al valore che corrisponde al silenzio. Quest'ultimo valore può servire quindi per dedurre la lunghezza d'onda incidente, se si è avuto cura di tarare la eterodina, cioè di misurare la lunghezza d'onda corrispondente ad ogni valore del condensatore C_1.

Risulta da quanto sopra che se l'aereo ed il circuito secondario del ricevitore, sono esattamente accordati con l'onda da ricevere e si ha una forte intensità di ricezione, essi non sono accordati con il generatore locale, poichè la frequenza di questo deve essere leggermente diversa per determinare i battimenti. Ma dato che tale differenza è leggera, e dato che l'accoppiamento si può fare abbastanza stretto, l'oscillazione forzata che si determina nell'aereo (oppure nel

circuito secondario), si potrà rendere abbastanza intensa, anche se, a motivo della selezione elettrica, essa non raggiunge il massimo che avrebbe se i circuiti fossero perfettamente in accordo.

Per completare il circuito di ricezione, si potrà derivare (fig. 300) un rivelatore qualunque (cristallo, valvola); e potrebbe anche, prima della rivelazione, disporsi un'amplificazione ad a. f., mediante una valvola apposita.

L'eterodina deve essere mantenuta continuamente in funzione durante la ricezione; nel telefono però il suono si ha solo all'arrivo delle onde incidenti, poichè l'oscillazione continua del generatore locale, anche se raddrizzata, non può essere rilevata dal telefono, per quanto si è già avuto occasione di dire nel capitolo XVIII. Il suono riproduce così solo i punti e le linee della trasmissione.

Naturalmente il circuito generatore dell'eterodina può essere diverso da quello indicato nella fig. 300.

289. - SENSIBILITÀ DELLA RICEZIONE AD ETERODINA. — Il sistema ad eterodina permette la ricezione di segnali debolissimi.

Ciò si deve al fatto, risultante dall'esame delle caratteristiche, che la corrente raddrizzata che percorre il telefono è proporzionale al quadrato della tensione di griglia. Ora nella sovrapposizione sulla griglia della tensione locale con quella in arrivo, si ottengono dei battimenti, nei quali l'ampiezza della tensione di griglia varierà fra la somma e la differenza delle ampiezze delle rispettive due tensioni. Ed allora, si supponga ad es., che l'intensità dei segnali in arrivo sia uno, e che l'intensità dell'oscillazione locale sia in un caso 10, nell'altro 100. Nel primo caso l'ampiezza della tensione di griglia varierà durante i battimenti da 9 a 11, la variazione dei quadrati sarà

$$11^2 - 9^2 = 121 - 81 = 40:$$

nel secondo caso la tensione varierà da 99 a 101; la variazione dei quadrati sarà

$$101^2 - 99^2 = 10201 - 9801 = 400.$$

La parte di audiofrequenza della corrente raddrizzata, che ha la frequenza dei battimenti e l'ampiezza proporzionale alla variazione dei quadrati della tensione di griglia, sarà nel secondo caso 10 volte più grande che nel primo; in proporzione cioè dell'intensità dell'oscillazione locale.

La figura 301 rappresenta un'oscillazione a battimenti, ottenuta da una oscillazione indotta debole; la componente di audiofrequenza della corrente raddrizzata è relativamente intensa, malgrado la piccolezza della f. e. m. da rivelare.

Usando l'eterodina si possono ricevere anche le onde smorzate; ma il suono non risulterà più musicale, a causa della irregolarità inevitabile con cui i successivi treni d'onda interferiscono con la oscillazione locale; e sarà invece deformato e come soffiato. La sua intensità sarà però molto maggiore con l'eterodina che senza.

Non sarebbe invece possibile ricevere le trasmissioni radiotelefoniche con la eterodina, perchè l'oscillazione locale, interferendo con quelle di varia frequenza che costituiscono la emissione rf., darebbe luogo solo ad una sgradevole deformazione della parola, dovuta alle varie frequenze risultanti dai battimenti tra le frequenze componenti.

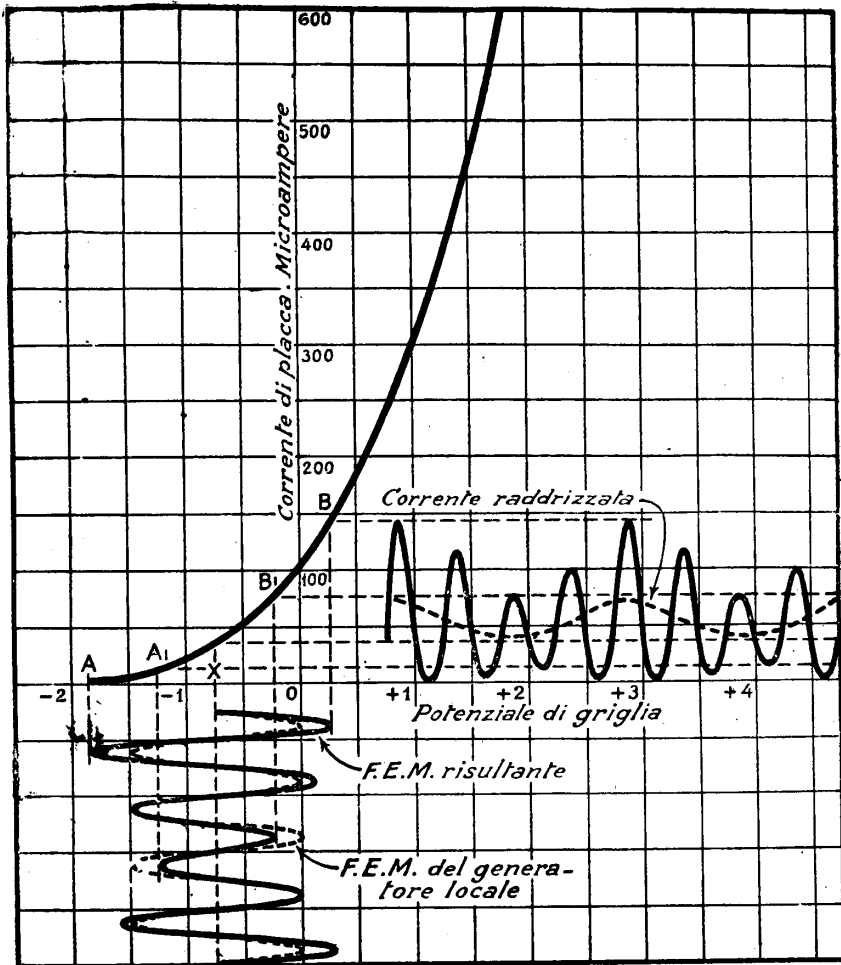



Fig. 301.

290. - Amplificazione a reazione. — Se si considera un circuito di generazione come quello della figura 302, e cioè con circuito oscillante sulla griglia, e si fa l'accoppiamento un po' meno stretto di quello necessario per far entrare la valvola in generazione, si avrà il funzionamento che al nr. 173 venne chiamato di *rigenerazione*. Le successive cariche date al condensatore non saranno sufficienti a compensare le perdite per resistenza e per irradiazione nel circuito di

scarica; l'oscillazione andrà quindi man mano smorzandosi, per quanto lentamente, fino a spegnersi. Basterà però un impulso esterno in accordo con il circuito, perchè la valvola entri di nuovo in oscillazione, la quale si spegnerà a sua volta se viene a cessare l'impulso eccitatore.

Ad esempio il circuito oscillante di griglia dello schema a fig. 302 può essere il circuito secondario di un ricevitore; nel circuito di placca una induttanza fa da bobina di reazione, accoppiandosi con l'induttanza del circuito di griglia. Supposto che sull'aereo incida un treno d'onda smorzato, esso creerà un treno di c. o. smorzato sull'aereo, e un treno analogo nel circuito oscillante secondario, Se invece si tratta di una emissione radiotelefonica, si avranno nei vari circuiti correnti alternate ad alta frequenza, modulate con frequenza udibile. Le oscillazioni di tensione che si hanno agli estremi del condensatore, e quindi anche tra filamento e griglia, provocano oscillazioni nella corrente di placca, aventi la frequenza dell'onda incidente. Per effetto della reazione, parte della energia oscillante dovuta alla corrente alternata I_p del circuito di placca si trasferisce su quello di griglia. La corrente indotta dalla I_p nel circuito oscillante risulta esattamente in fase con la corrente oscillante che vi proviene dall'aereo, se il senso dell'avvolgimento è giusto (1). Ed allora nel circuito di griglia si ha una corrente che si somma con quella precedente, la quale viene così amplificata, ed a sua volta produce un aumento nella tensione di griglia e nella corrente di placca, e quindi da questa ancora un aumento nel circuito oscillante e così via. Il circuito di griglia, pur non avendo modificate le sue caratteristiche di smorzamento (resistenza ohmica, irradiazione), sarà in grado di mantenere più a lungo l'oscillazione, come se il suo smorzamento fosse diminuito, ed il treno d'onda non solo sarà più ampio, ma potrà essere prolungato fino a toccare quasi il successivo (fig. 303). Aumentando man mano l'accoppiamento della reazione, l'amplificazione crescerà fino ad un punto in cui un ulteriore aumento darà luogo ad una oscillazione persistente, che maschererà la segnalazione in arrivo, rendendola soffocata

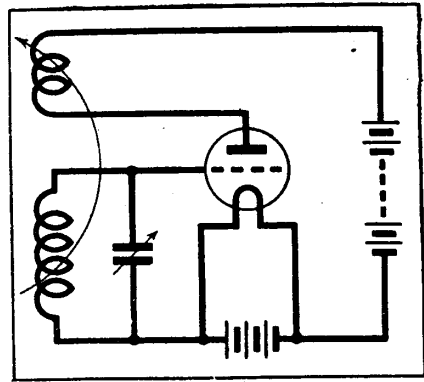



Fig. 302.

(1) La tensione di griglia, e cioè del condensatore, è sfasata di 90 gradi con la corrente del circuito oscillante di griglia. La corrente I_p di placca è in fase con la tensione di griglia. La f. e. m. indotta dalla corrente di placca nel circuito oscillante di griglia è sfasata di 90 gradi con la I_p inducente; la corrente determinata da questa f. e. m. è in fase con la f. e. m. stessa, perchè il circuito è in risonanza con essa. La corrente indotta è dunque in fase o in opposizione esatta di fase con la corrente del circuito oscillante, perchè entrambe sono sfasate di 90° con la I_p o la E_g che sono tra loro in fase.

o stridente, come nel caso dell'eterodina. Lo stesso avverrebbe se la emissione fosse radiofonica. Per mantenere alla ricezione la tonalità musicale e la chiarezza della parola trasmessa, è perciò necessario non spingere troppo la reazione, ma portarla vicina a quella occorrente per l' innescamento delle oscillazioni persistenti, senza raggiungerlo.

Un dispositivo come quello ora accennato produce in definitiva una diminuzione nello smorzamento del circuito oscillante. In altre parole con tale dispositivo l'energia delle oscillazioni in arrivo serve solo per eccitare nel circuito delle oscillazioni più potenti e meno smorzate, le quali possono acquistare un'energia molto superiore a quella dovuta alle sole onde incidenti. Si ottiene per tal modo una vera amplificazione delle segnalazioni, che dicesi *per rigenerazione o a reazione,*

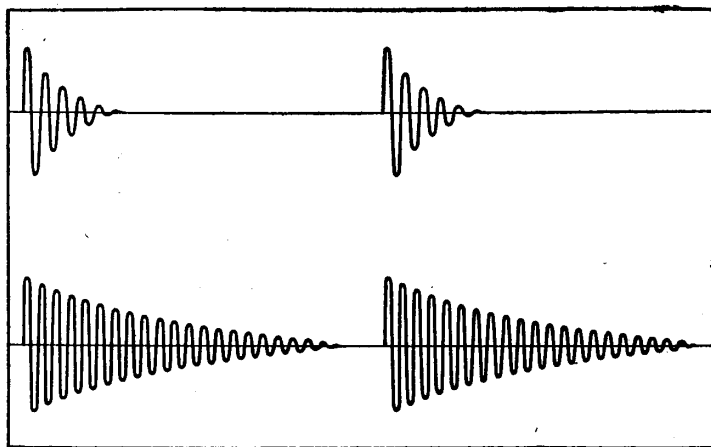



Fig. 303.

perchè dovuta alla reazione del circuito di placca su quello di griglia il quale ha prodotto la prima eccitazione, avendola a sua volta ricevuta dall'esterno.

Le correnti che circolano nella placca e nel circuito di griglia, hanno la stessa forma di quella incidente, e saranno quindi persistenti o smorzate o radiotelefoniche, ma sempre di radiofrequenza. Per completare la ricezione si dovrà perciò disporre di un raddrizzatore della corrente di placca. Si può però fare in modo che la valvola funzioni in amplificazione a reazione e contemporaneamente in rivelazione. Basta a tal uopo inserire nel circuito di griglia un condensatore con relativa resistenza di dispersione e nel circuito di placca un trasformatore telefonico o un telefono, opportunamente shuntati da un condensatore che lasci libera l'a. f. La rettificazione che si ottiene scomporrà la tensione di ampiezza variabile della griglia nelle sue componenti di radio e di audiofrequenza, che risulteranno così separate sulla placca. Mentre la prima passando per il condensatore che shunta il telefono o il trasformatore, o, in mancanza del condensatore, per la capacità propria del telefono o del trasformatore, reagisce dalla placca

sulla griglia e produce l'amplificazione ora studiata, la seconda componente, di audiofrequenza, percorre il telefono, dando il suono udibile che serve a rivelare l'oscillazione.

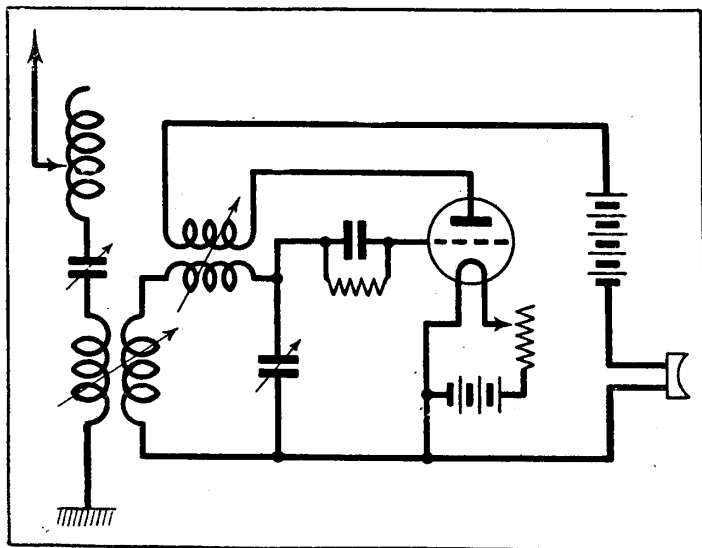



Fig. 304.

Lo schema del ricevitore completo ad una valvola sola, rivelatrice ed amplificatrice a reazione, risulta dalla figura 304.

Volendosi maggiore amplificazione, si dovrà tener presente che dopo il raddrizzamento la corrente ha acquistato una frequenza acustica, e che perciò si potrà amplificare con un amplificatore a bassa frequenza (di solito a trasformatore).

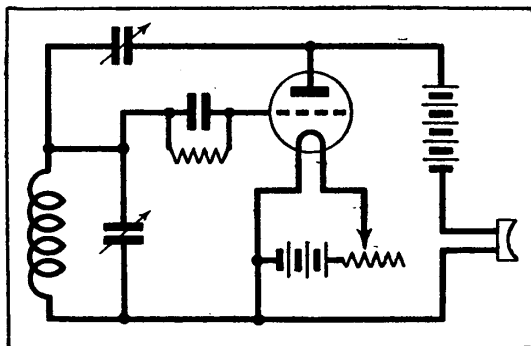
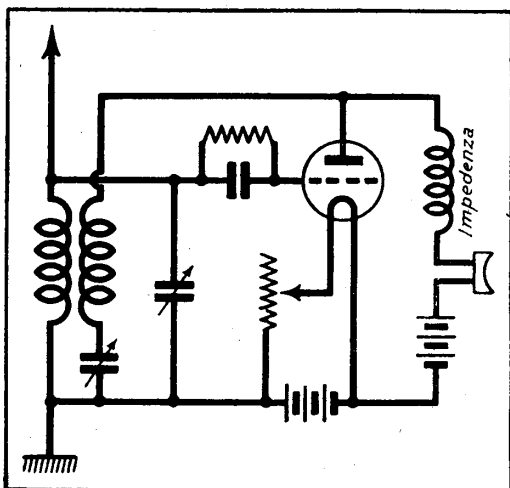



Fig. 305.

291. - Altri modi di rigenerazione. — Il circuito finora considerato è a reazione induttiva mediante due bobine, una sul circuito di placca, l'altra su quello di griglia, fra le quali si varia l'accoppiamento. La reazione può però ottenersi in altro modo, ad es.: con metodo elettrostatico o capacitativo, come si è già visto trattando delle valvole in generazione e del modo di renderle rige-

neratrici. Il dispositivo può ad es.: assumere la forma della fig. 305 (1). Ma anche con la reazione induttiva si può variare il grado di rigenerazione, e quindi l'amplificazione, senza variare l'accoppiamento tra le bobine. Ad es.: disponendo un condensatore variabile, in serie con la bobina di reazione di placca (fig. 306 circuito Reinartz). Variando il condensatore, varia l' impedenza del circuito di placca, e quindi la corrente anodica e il suo effetto sul circuito di griglia. Si può pure disporre una resistenza variabile sul circuito di placca. Qualunque modo, insomma, che vari l' influenza del circuito di placca su quello di griglia è adatto allo scopo. Il più conveniente è quello che permette una variazione dolce dell'amplificazione, in modo che il valore ch'essa assume possa graduarsi a piacere, e che permette inoltre la maggiore indipendenza di funzionamento tra reazione ed accordo.

Fig. 306.

Sotto questo punto di vista è da rilevare che gli altri circuiti generatori esaminati al nr. 175 e 183 male si presterebbero come circuiti rigeneratori, poichè in essi la variazione della reazione implica una variazione della frequenza propria del circuito, e quindi una variazione nell'accordo, il che implica la regolazione di quest' ultimo. Il circuito a reazione di placca, con reazione capacitiva (Reinartz), od a variazione della tensione anodica, sembra il più conveniente.

292. - Ricezione ad endodina. — Nel dispositivo della fig. 302 si supponga l'accoppiamento di reazione portato ad un valore sufficientemente stretto; la valvola entrerà in regime di generazione, come si è già detto, ed il circuito oscillante di griglia sarà sede di oscillazioni continue. Se ora si suppone che tale circuito sia anche secondario di un ricevitore rt., e che vi si producano altre correnti oscillanti, indotte da analoghe correnti che percorrono l'aereo, in esso create da onde incidenti, che si possono supporre persistenti ed in risonanza col circuito, allora nel circuito di griglia avrà luogo, per quanto è già stato detto, l'interferenza fra le due oscillazioni, e quindi si avrà, in corrispondenza dell'arrivo delle onde sull'aereo, una corrente a battimenti, suscettibile di rivelazione.

Si avrà così con una sola valvola la corrente a battimenti atta per la rivelazione, precisamente come nel caso contemplato al nr. 288 con l' impiego di

---

(1) Realizzato fin dal 1918 dal Cap. Giovannuzzi.

una eterodina separata. Una valvola che opera in tal modo è atta alla ricezione di o. p., e si dice che funziona in endodina od in autoeterodina.

Per ottenere la rivelazione basta che la valvola sia munita di condensatore shuntato di griglia; in tal modo la corrente a battimenti viene raddrizzata nel circuito di placca, ed è possibile quindi ottenere direttamente la rivelazione, quando nella placca vi sia un telefono o un trasformatore telefonico. Lo schema del dispositivo può essere ancora quello della fig. 304 a reazione variabile, in modo che con accoppiamento non troppo stretto si ha il funzionamento in rigenerazione, atto ad amplificare le onde smorzate o radiotelefoniche, e con

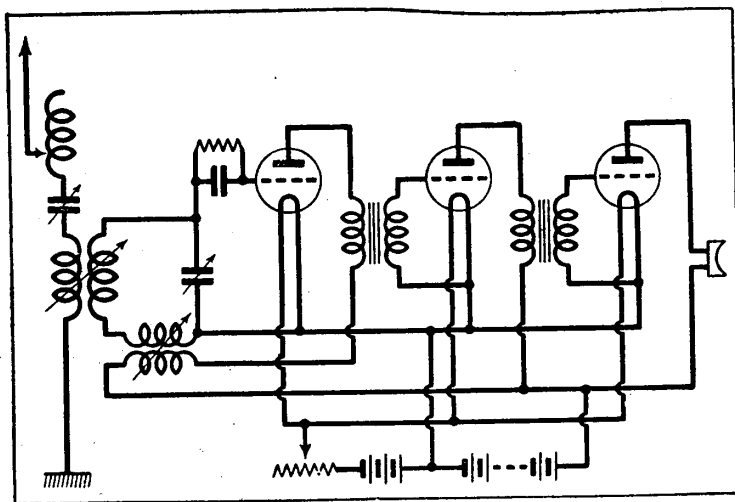



Fig. 307.

accoppiamento più stretto si ha l' innescamento delle oscillazioni, ed il funzionamento in endodina per ricevere le o. p.

La fig. 307 rappresenta un ricevitore amplificatore a due stadi di bassa frequenza, con valvola rivelatrice munita di reazione variabile, sia per la sola amplificazione, che per la ricezione delle o. p.

È da osservare che quando la reazione è disposta sul circuito oscillante di griglia della prima valvola e viene spinta fino alla oscillazione, allora si induce una corrente anche sull'aereo, e questo darà luogo ad una irradiazione di onde che può disturbare posti riceventi vicini. Perciò si prescrive in molti casi che la reazione sia fatta non sul circuito d'aereo ma su un circuito interno, ad es. come è detto al nr. 296.

Per la ricezione delle o. p. in endodina occorre che il circuito secondario sia leggermente stonato rispetto all'aereo ed all'onda da ricevere, appunto perchè si verifichino i battimenti a frequenza udibile; ed è la capacità di tale circuito

secondario che occorre variare per cambiare la tonalità del suono al telefono. Ciò può costituire un difetto, specialmente per le onde molto lunghe, nel caso che l'energia che incide sull'aereo sia molto piccola, poichè allora il circuito secondario può non essere sufficientemente influenzato dall'energia dell'aereo, essendo disaccordato con esso.

In tal caso si dovrà ricorrere all'eterodina, perchè con questa il circuito d'aereo e quello secondario vengono perfettamente accordati con l'onda da ricevere, tenendoli invece fuori accordo rispetto all'eterodina, la quale ha sempre una energia esuberante, e può accoppiarsi nel modo più conveniente per la ricezione.

293. - Ricezione di onde persistenti molto corte. — La ricezione delle o. p. molto corte è resa particolarmente difficile dalla grande acutezza della selezione acustica, che si ottiene col metodo della interferenza della corrente oscillante locale con quella provocata dalle onde in arrivo. Una minima variazione della lunghezza d'onda di trasmissione può far scomparire completamente i battimenti, portandoli negli ultraudibili; lo stesso può avvenire per una piccola variazione nell'onda prodotta dal generatore locale, e ciò perchè nelle onde corte una variazione anche minima nella lunghezza d'onda corrisponde ad una variazione notevole della frequenza. La semplice vicinanza dell'operatore, o l'approssimarsi della mano, possono modificare completamente la tonalità nel telefono, e fare anche scomparire totalmente il suono. Variazioni di frequenza nella stazione trasmittente possono aversi per cause indipendenti dagli operatori; ad es.: il semplice movimento dell'aereo per effetto dell'azione del vento dà luogo ad esse.

Per dare un'idea di tali fatti, si può dire che quando si è in ricezione con nota 1000 sull'onda di 20 m., ciò significa che la corrente locale ha frequenza 14.999.000, oppure 15.001.000, essendo 15.000.000 la frequenza corrispondente all'onda di 20 m. Basterà che la corrente locale passi dalla frequenza 14.999.000 a quella di 14.997.000, oppure da 15.001.000 a quella 15.003.000 perchè la ricezione venga a mancare, diventando praticamente inudibile; e ciò corrisponde appena alla variazione di lunghezza d'onda da m. 20,0013 (frequenza 14.999.000) a m. 20,0040 (frequenza 14.997.000), oppure da m. 19.9986 a m. 19,9960.

È evidente che solo una notevole stabilità nella lunghezza dell'onda emessa dal trasmettitore e in quella generata dall'oscillatore locale può consentire una ricezione facile e costante.

Con un trasmettitore stabile le difficoltà diminuiscono sensibilmente, specie allorchè si ha l'avvertenza di usare circuiti oscillanti a gamma d'onda limitata, cioè tali che passando dalla massima alla minima capacità del condensatore di accordo si ottenga una variazione relativamente piccola di onda. Maneggiando con molta delicatezza tali condensatori, muniti di delicate demoltiplicazioni, si può ottenere che rotazioni abbastanza ampie delle manopole diano luogo a va-

riazioni molto piccole di capacità, e quindi di frequenza. In tal modo si evita il pericolo che si avrebbe con una variazione troppo rapida, cioè di perdere facilmente il segnale in arrivo, che sarà normalmente ad o. p. o radiotelefonico. Perciò per coprire gamme un poco ampie è necessario l'uso di molte bobine ricambiabili, ciascuna corrispondente ad una piccola parte della gamma.

Un altro inconveniente delle altissime frequenze è la facilità con cui si ottengono accoppiamenti parassiti che determinano l'autoeccitazione delle valvole; da ciò la difficoltà di usare amplificatori a successivi stadi sintonizzati. Le perdite per induzione nei circuiti vicini crescono pure molto con la frequenza, e possono diventare molto gravi.

L'accurata disposizione dei circuiti, l'uso di bobine e di condensatori a minime perdite, la schermatura dei circuiti oscillanti, sono quindi accorgimenti di capitale importanza nei ricevitori per onde corte.

Sono molto indicati per questo scopo circuiti aventi una sola sintonizzazione di alta frequenza, e ciò sia per evitare autoeccitazioni parassite, sia perchè la difficoltà già notevole di sintonizzare un circuito può diventare quasi una impossibilità, quando se ne debbano sintonizzare due o più, specialmente se la gamma da coprire è un poco ampia.

Sono pure indicati i circuiti a valvole schermate, usate come amplificatrici ad a. f. in risonanza, aventi l'aereo aperiodico, cioè non sintonizzabile, vale a dire con sola induttanza, e ciò allo scopo di avere soltanto un circuito da accordare, quello della placca della schermata. L'uso dell'aereo sintonizzato, possibile nel caso di gamme molto strette, può però fare molto guadagnare in selettività e sensibilità.

Altri circuiti molto convenienti, ma meno di quello ora indicato, sono quelli a reazione capacitativa Bourne e Reinartz (nr. 297), nonchè quello a superreazione di Armstrong (nr. 300), tutti ad un solo circuito sintonizzato.

294. - Elementi costitutivi di un apparato a valvola. — Per un apparecchio completo rivelatore-amplificatore, gli elementi costitutivi sono generalmente i seguenti:

Induttanze (nr. 64 e nr. 65). Sono per lo più impiegate le induttanze cambiabili, a nido d'ape od a fondo di canestro, con innesti a spina, oppure le induttanze cilindriche ad un solo strato, con sostegno isolante non pieno (sfinestrato).

Capacità (nr. 45 e nr. 49). Si impiegano per lo più condensatori variabili ad aria, con movimento micrometrico di demoltiplica, e condensatori verniero, talvolta, specie per le onde molto corte, con profili speciali o differenziali. Per i collegamenti a resistenza fra le valvole, e per le griglie, si adottano condensatori a capacità fissa, a mica, di valore adeguato di capacità. I condensatori d'arresto di griglia devono essere shuntati dalla resistenza di dispersione; talvolta la resistenza forma un complesso unico con la relativa capacità.

Accoppiamenti induttivi per alta frequenza. Servono per il collegamento fra aereo e circuito interno, e per la reazione; assumono anche la denominazione di trasformatori ad alta frequenza. Le bobine che si impiegano sono analoghe alle induttanze già accennate; per averne gli accoppiamenti variabili, si montano su sostegni a rotazione, detti accoppiatori, a due o tre bobine.

Portatriodi. Talvolta assumono forme speciali, e costituiscono degli elementi a sè, come ad es. i portatriodi antifonici, che hanno un sostegno a molla, per ridurre le vibrazioni meccaniche, e quindi il suono di campana.

Capitolo XX.

Circuiti riceventi speciali.

295. - Generalità. — Combinando i principî esposti nei capitoli precedenti, si possono creare diversi schemi di ricevitori rispondenti a determinate esigenze. L' impiego delle onde molto corte per la trasmissione sia telegrafica che telefonica, il servizio della radiodiffusione di notizie, di concerti, ecc., ed il desiderio di ricevere trasmissioni lontane, escludendo trasmissioni relativamente vicine, hanno originato un numero considerevole di schemi riceventi più o meno complessi, molto sensibili, e che cercano di trarre profitto delle varie proprietà delle valvole, per adattarle a diversi scopi (1). Taluni di questi schemi portano i nomi di chi primo li segnalò; altri hanno nomi convenzionali, comunemente accettati. Si esamineranno nei numeri seguenti i più importanti di tali schemi: alcuni di essi sono adatti solo alla ricezione di onde smorzate o della radiotelefonia.

296. - Ricevitori a reazione anodica. — Nei ricevitori per o. p. ad endodina indicati al nr. 292 l'accoppiamento di reazione per la ricezione a battimenti è disposto fra la placca ed il circuito oscillante di griglia, o di aereo. Tale schema ha l' inconveniente di creare sull'aereo una oscillazione persistente di frequenza leggermente diversa da quella che si vuol ricevere, oscillazione che viene irradiata nello spazio, e che può disturbare la ricezione degli apparecchi che si trovino a piccola distanza da tale ricevitore. Si evita l' irradiazione mediante la reazione anodica come è indicata nella fig. 308. Il circuito di placca della seconda valvola (od anche di una valvola successiva) è accoppiato al circuito sintonico di placca della prima valvola; in tal modo parte dell' energia anodica della seconda viene riportato all'anodo della prima, e, attraverso al collegamento fra le due valvole, alla griglia della seconda. Si può così far entrare in oscillazione il circuito di placca della prima valvola ed in questo circuito si origineranno i battimenti. L' oscillazione locale creata nel circuito di placca della

(1) Per maggiori particolari su questi circuiti si rimanda ai trattati speciali ed alle riviste tecniche. Pei dilettanti è molto consigliabile il volume dell' Ing. E. Montù (Edizione Hoepli): « *Come funziona e come si costruisce una stazione radio trasmittente e ricevente* ».

prima valvola non può portarsi sulla griglia, e quindi neppure all'aereo, sempre che però non ci siano accoppiamenti fortuiti ad es.: fra le bobine di placca e le induttanze dell'aereo o della griglia. Nello schema la prima valvola è amplificatrice ad alta, ed è collegata alla griglia della seconda con collegamento a capacità. Il circuito anodico della prima valvola comprende un circuito oscillante 5-6 che accoppia con l' induttanza 7 della placca della seconda. Variando l'accoppiamento 5-7 si fa funzionare il sistema in amplificazione a rigenerazione oppure in endodina, dato il collegamento 3-4 e l'accoppiamento 7-5. Lo schema può essere completato con amplificazioni a bassa frequenza.

La disposizione dei due circuiti accordati può però procurare facilmente l' innesco spontaneo delle oscillazioni, per accoppiamento fra i due circuiti, anche

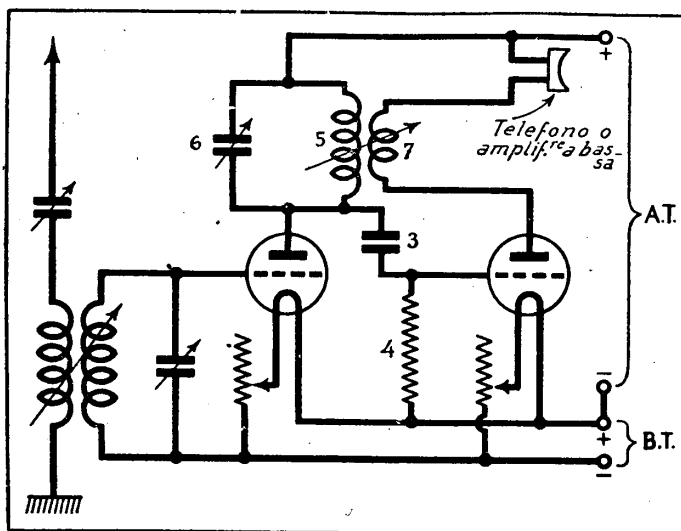



Fig. 308.

semplicemente attraverso la capacità placca-griglia della seconda valvola, come si è detto al nr. 293, e sempre che si tratti di onde medie e corte. Si rimedia all' inconveniente con la neutralizzazione e con la schermatura dei circuiti.

297. - Ricevitori Reinartz. — Sono basati sull' impiego di un aereo aperiodico, con circuito di griglia della prima valvola strettamente accoppiato all'aereo. La reazione per l'amplificazione o per la ricezione a battimenti è contemporaneamente di capacità e di induttanza, ed è ottenuta con un collegamento contenente induttanza e condensatore variabili, disposti fra la placca e l'aereo. Le fig. 306-309-310 rappresentano tre schemi che rispondono allo stesso principio. La regolazione di L_1 e L_2 (fig. 309) si fa solo per passare da una scala ad un'altra di onde; l'accordo del circuito oscillante di griglia si ottiene con il condensatore variabile C_2; la reazione è ottenuta dall' induttanza L_3 e dalla capa-

cità C_3. Variando quest'ultima si modifica l' impedenza del circuito di placca, e quindi la corrente alternata anodica, e l'entità della reazione. Gli schemi 306 e 309 comprendono una sola valvola amplificatrice a reazione (o endodina) e rivelatrice, quello della fig. 310 comprende due valvole, una amplificatrice ad a. f., l'altra rivelatrice. Talvolta nel circuito dell'alta tensione e del telefono (che non debbono essere percorsi dalle oscillazioni ad a. f.), è disposta una impedenza a nucleo d'aria (fig. 309), per limitare dette oscillazioni al solo circuito di reazione.

Fig. 309.

298. - CIRCUITI REFLEX. — Si può impiegare una valvola come amplificatrice ad a. f. e poi come amplificatrice a bassa, facendo ritornare nel suo circuito di griglia i segnali rivelati da un rivelatore, ad es. da un cristallo. La valvola oltrechè in amplificazione ad a. f. può essere amplificatrice in reazione ed anche endodina; e si può far seguire il tutto da una

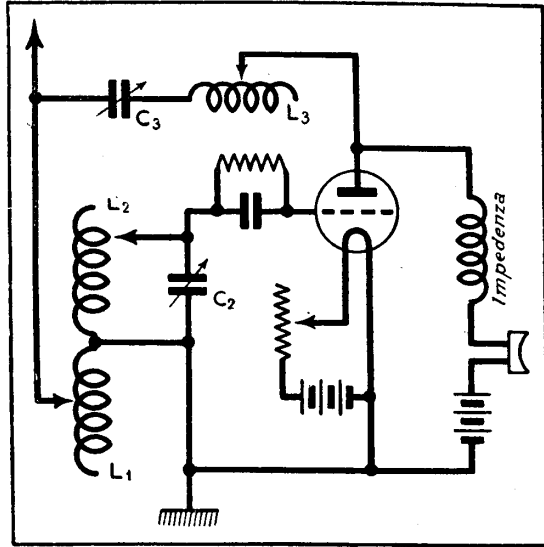
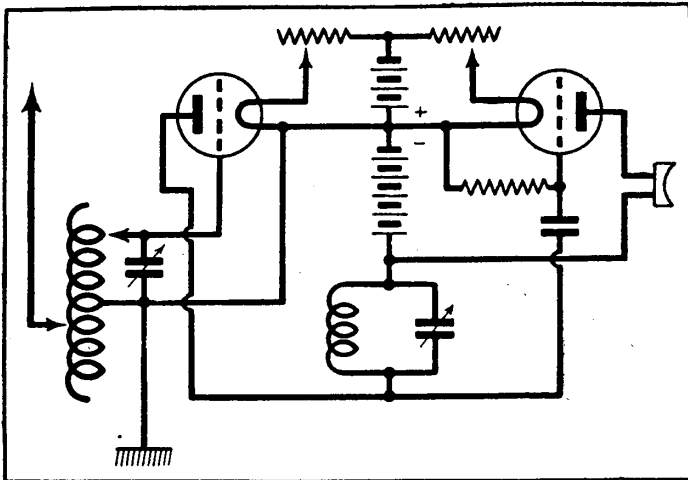



Fig. 310.

o due altre amplificazioni a b. f. La fig. 311 rappresenta lo schema di un circuito reflex ad una valvola, senza reazione. Attraverso l'accoppiamento T_1 (trasformatore ad

a. f.) si trasferiscono gli impulsi ad alta frequenza dal circuito di placca al circuito oscillante L_2 C_2 sul quale è derivato il rivelatore. Mediante il trasforma-

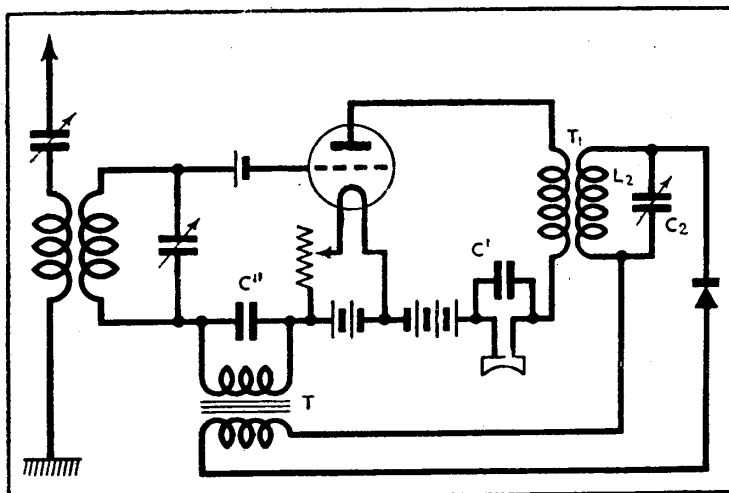



Fig. 311.

tore T a nucleo di ferro, le correnti a b. f. sono riportate sul circuito di griglia, e quindi amplificate dalla valvola. Il condensatore C' e quello C'' permettono il

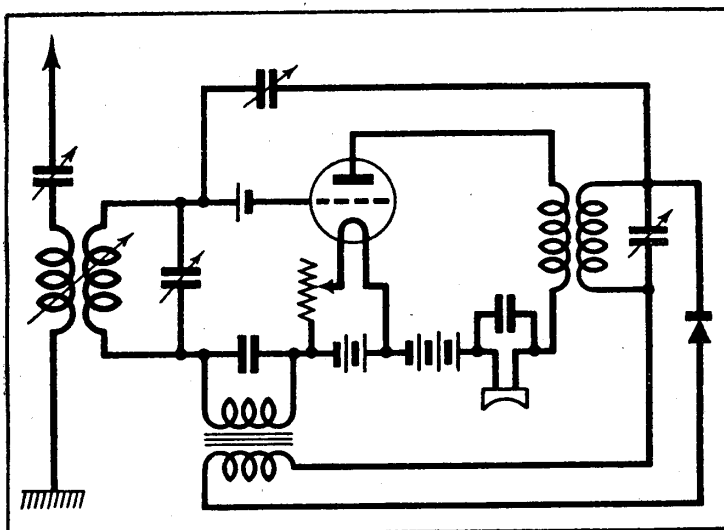



Fig. 312.

passaggio degli impulsi ad a. f. rispettivamente nel circuito di placca (condensatore derivato sul telefono) e nel circuito di griglia (derivato sul secondario del

trasformatore telefonico). È molto importante che la valvola non funzioni da rivelatrice, perchè altererebbe la bassa frequenza; quindi se ne regolerà il potenziale della griglia (ad es.: con una pila di griglia), in modo da mantenere il il funzionamento nella parte rettilinea della caratteristica. Lo schema permette facilmente l'amplificazione a reazione, sia elettrostatica che elettromagnetica (fig. 312), nonchè l'applicazione di una seconda valvola amplificatrice a bassa.

La difficoltà di trovare valvole che adempiano egualmente bene le varie funzioni rende però in genere poco conveniente questo montaggio.

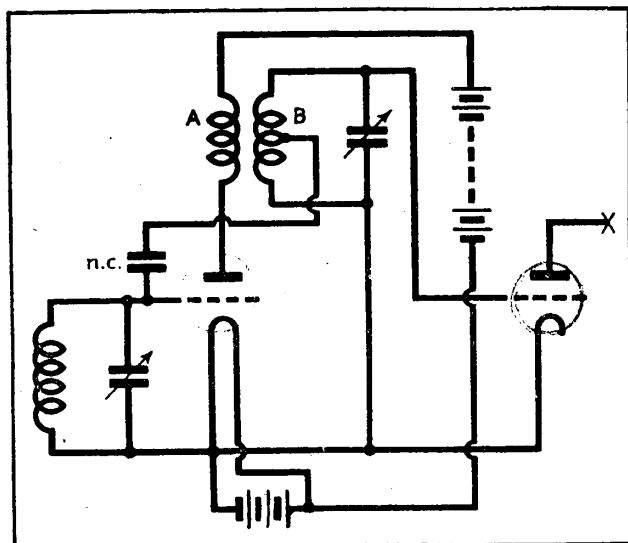



Fig. 313.

299. - Circuito neutrodina (1). — Al nr. 293 si è già accennato che nei ricevitori ad onde corte la stessa capacità della valvola (placca-griglia) è sufficente per determinare una reazione elettrostatica fra i due circuiti.

Più spesso la capacità placca griglia è nociva, specie negli amplificatori ad alta frequenza. Infatti in tal caso in genere si hanno sulla stessa valvola due circuiti sintonici, uno sulla griglia ed uno sulla placca, accordati per la medesima onda: basta allora anche un piccolo accoppiamento elettrostatico, come quello dovuto alla suddetta capacità della valvola, per ottenere un effetto di reazione sufficente per generare delle oscillazioni locali, che si possono interrompere solo disaccordando uno dei due circuiti. Tale oscillazione, producendo battimenti a frequenza udibile con l'onda portante delle emissioni che si vogliono

(1) Per i circuiti neutralizzati vedi nr. 230.

ricevere, o con quelle prodotte da altre valvole amplificatrici, può far fischiare il ricevitore fino ad impedire la ricezione. Ad evitare ciò si è proposto (Hazeltine)

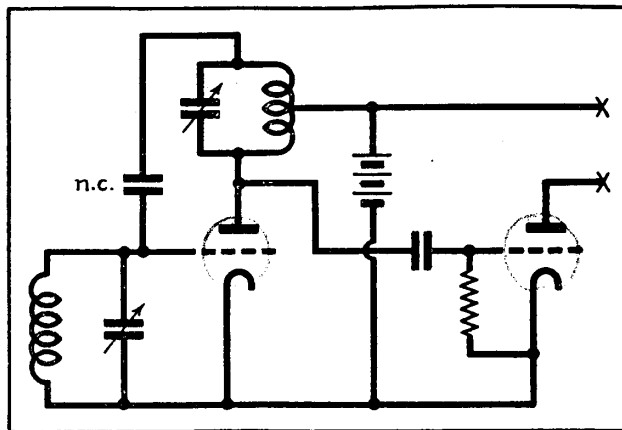



Fig. 314.

di neutralizzare la capacità nociva della valvola con uno speciale circuito detto *neutrodina*, nel quale (analogamente a quanto si è visto al nr. 230) si fa arrivare al circuito di griglia una f. e. m. eguale, ma di senso opposto, a quella che vi

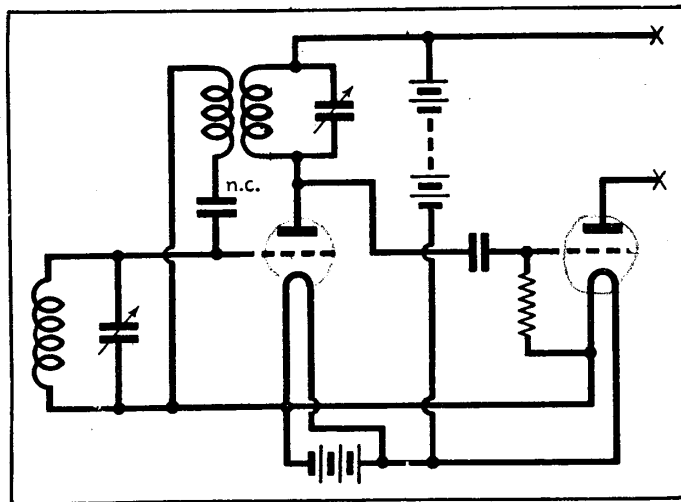



Fig. 315.

arriva attraverso la capacità interna della valvola. Servono a tale scopo i cosidetti neutrocondensatori ed i neutrotrasformatori. Il neutrocondensatore è un condensatore variabile, di piccolissima capacità, e cioè dell'ordine di quella fra placca

e griglia (10 a 50 cm.); il neutrotrasformatore è un trasformatore per a. f. (a nucleo d'aria), con attacco intermedio sul secondario.

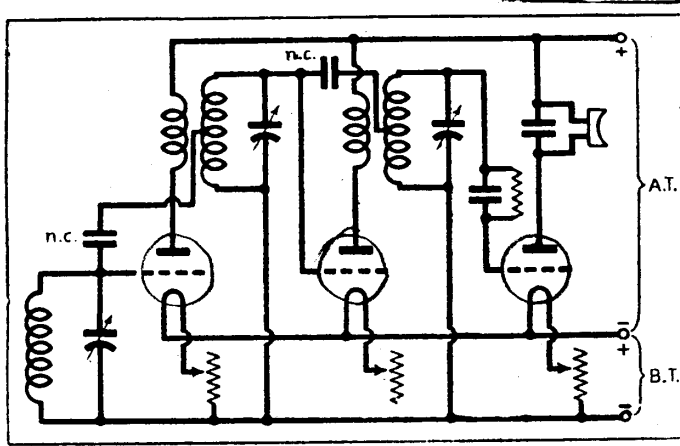



Fig. 316.

La fig. 313 rappresenta un circuito neutrodina; la bobina di placca A è accoppiata con quella B del circuito oscillante di griglia della valvola successiva (accoppiamento sintonico); da un punto intermedio di B parte il collegamento

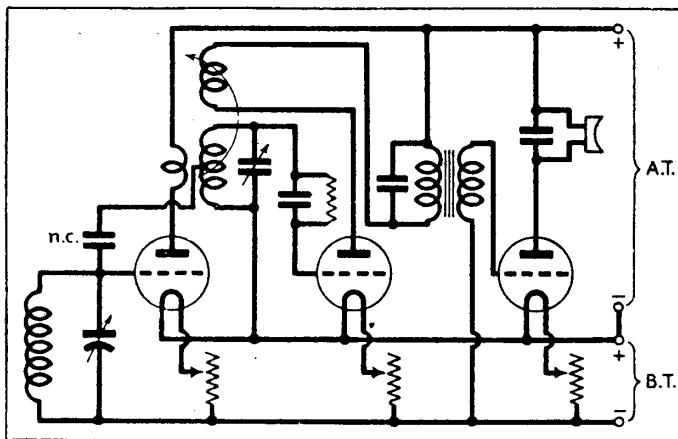



Fig. 317.

del neutrocondensatore, che ha l'altra armatura unita alla griglia della prima valvola. Le fig. 314 e 315 mostrano delle varianti a tale disposizione; la fig. 316 rappresenta lo schema di un apparecchio con due valvole amplificatrici neutro-

dinate ed una rivelatrice (1); quella 317 un apparecchio con una valvola in neutrodina, una rivelatrice con reazione ed una amplificatrice a bassa.

Come risulta dalle figure, il neutrocondensatore viene sempre collegato alla griglia e (direttamente, oppure indirettamente, attraverso ad un trasformatore a. f.) ad un punto del circuito oscillante avente polarità opposta a quello collegato alla placca.

La regolazione del neutrocondensatore si ottiene mettendo a zero la reazione (negli apparecchi che ne sono provvisti) e accordando su una trasmissione di forte intensità, oppure su un ondametro a cicala, accoppiato solo all'aereo, e cioè in modo che non agisca sui circuiti interni. Ottenuto l'accordo si spegne la valvola in neutrodina, in modo da ricevere solo con la valvola rivelatrice, attraverso al neutrocondensatore ed alla capacità placca-griglia della valvola neutrodina; si regola in queste condizioni il neutrocondensatore relativo, fino ad estinguere il suono nel telefono, dopo di che si possono ritenere compensate le due capacità, e si può accendere la valvola neutrodina.

In complesso il circuito neutrodina permette forti amplificazioni accordate e quindi selettive, evitando i fischi od i disturbi che senza di esso avverrebbero molto facilmente.

300. - Circuiti a super-reazione di Armstrong (o ad ultra reazione). — Al nr. 290 si è già detto dell'amplificazione a reazione, e come tale dispositivo permetta di mantenere più a lungo l'oscillazione in un circuito. come se questo avesse uno smorzamento più debole. Si esprime questo fatto anche dicendo che si è introdotta nel circuito una resistenza negativa, che ha ridotto il valore della resistenza positiva, causa dello smorzamento. Si era pure detto al nr. 290 che la reazione deve essere regolata in maniera che un treno d'onda quasi tocchi il successivo; un ulteriore aumento di reazione farebbe innescare la valvola, producendo un funzionamento in endodina e quindi con deformazione della tonalità della scintilla o della tonalità di modulazione (sia a cicala che telefonica), nonchè con la presenza nel telefono di un sibilo, dovuto ai battimenti per l'interferenza fra detta oscillazione e quella in arrivo. Ad evitare questo inconveniente occorre dunque che la reazione sia tale da lasciare un certo valore di resistenza positiva nel circuito. Evidentemente però se si riescisse a portare a zero la resistenza, o meglio a farla diventare negativa, senza peraltro che si innescassero le oscillazioni, l'amplificazione sarebbe maggiore. A questo giunge il dispositivo a superreazione di Armstrong.

Per annullare la resistenza positiva ed anche per farla diventare negativa basta aumentare l'accoppiamento di reazione; per impedire che la valvola entri in oscillazione,

---

(1) Nello schema della fig. 316 (e in altri successivi), il condensatore variabile è segnato con un'armatura curva per indicare l'armatura mobile. In questo modo lo schema individua anche a quali punti del circuito va collegata la suddetta armatura mobile, il che è necessario in tutti i circuiti in cui si deve anche tener conto dell'*effetto di mano*, cioè della variazione di capacità che si verifica nel condensatore per effetto dell'avvicinamento della mano (a potenziale zero) per la regolazione. Per evitare tale effetto si deve mettere alla massa od alla terra precisamente l'armatura mobile, cioè quella che deve essere avvicinata dalla mano, che è a potenziale zero.

l'Armstrong ha disposto le cose in modo che alternativamente la resistenza del circuito sia negativa (amplificazione) e positiva (disinnescamento delle oscillazioni); per evitare che questa successione di amplificazione e di disinnescamento dia disturbo nella ricezione, l'Armstrong la produce con frequenza ultraudibile, e cioè al disopra di 10.000 volte al secondo. Ora per produrre le alternative di preponderanza di resistenza positiva o negativa, si possono seguire tre sistemi: far variare la tensione di placca, in modo che la valvola diventi alternativamente generatrice o non; far variare la tensione di griglia, e quindi l'attitudine al funzionamento della valvola in generazione; far variare contemporaneamente le due tensioni, in modo che crescendo l'una diminuisca l'altra. Tutto ciò, come si è già detto, ad una frequenza ultra udibile.

Per raggiungere gli scopi suddetti si impiega una valvola in eterodina che genera una oscillazione di frequenza dell'ordine di 10.000, e cioè molto basso rispetto a quella dell'onda da ricevere. Tale eterodina è disposta in modo da far variare alternativamente il potenziale di griglia, oppure il potenziale di placca della valvola rivelatrice a reazione, che viene messa in oscillazione. Dette variazioni di potenziale interrompono le oscillazioni che hanno tendenza a prolungarsi ed a disturbare; la valvola in reazione non oscilla quindi in realtà che per periodi brevissimi (minori di 1/10.000 di sec.), e le interruzioni, succedendosi a frequenza di 10.000, sono inudibili. Il funzionamento è tanto migliore, quanto più differenti sono fra di loro le due frequenze: locale e delle onde da rivelare.

La valvola in superreazione ha l'accoppiamento di reazione piuttosto stretto, di modo che è sempre in condizioni di adescarsi, non appena la tensione di placca (nel caso ad es. che la eterodina agisca sulla tensione anodica) raggiunge il valore necessario a tale funzionamento; ma le oscillazioni che si ottengono in questo modo (e che sono interrotte alla frequenza ultracustica) sono relativamente molto piccole.

Se in queste condizioni si eccita il circuito oscillante connesso alla valvola con una f. e. m. esterna (proveniente da onde in arrivo) avente la stessa frequenza del circuito, allora in quest'ultimo si avranno oscillazioni anche negli intervalli in cui la valvola non oscilla (resistenza positiva), non solo, ma negli intervalli di oscillazione (resistenza negativa) questa sarà molto più intensa di quella che si ha per il solo effetto dell'innescamento spontaneo delle oscillazioni. Cessando la f. e. m. esterna le oscillazioni ritornano ad autoeccitarsi in modo intermittente, con la frequenza intermedia e con ampiezza molto piccola. È questo il principio fondamentale della superreazione. Con conveniente regolazione delle valvole, e specialmente della accensione, si può riuscire ad ottenere che l'ampiezza della oscillazione forzata, cioè dovuta alle oscillazioni dell'aereo, si mantenga esattamente proporzionale alla f. e. m. esterna eccitatrice. In questo caso la curva inviluppo dei vari gruppi di oscillazioni riproduce esattamente l'andamento della f. e. m. oscillante proveniente dalle onde incidenti e, se questa è modulata o radiotelefonica, le tonalità della parola vengono esattamente riprodotte.

Nella figura 318 si ha una rappresentazione del fenomeno complessivo. La curva a) rappresenta l'onda eccitatrice modulata in arrivo; quella *b*) la tensione di placca modulata con la frequenza ultraudibile della superreazione, di circa 10.000 periodi al secondo, e quindi molto inferiore a quella radio dell'onda portante. Le oscillazioni si innescano solo quando la tensione di placca raggiunge i valori m, n, p; e si spengono quando la tensione scende ai valori p, q, r. La curva *c*) rappresenta la corrente risultante nel circuito oscillante; questa anzichè avere una sola modulazione, come nella curva a), ne ha due, di cui una ultraudibile di superreazione, per effetto della quale la corrente risulta

divisa in gruppi di ampiezza variabile, ed una udibile rappresentata dalla curva inviluppo di tutti i gruppi suddetti. Questa curva inviluppo, quando si raggiunga la esatta proporzionalità tra f. e. m. esterna ed ampiezza della oscillazione, è simile a quella modulatrice della figura *a*). La corrente oscillante risultante mantiene quindi, amplificata, la modulazione originale.

La successiva rettificazione della oscillazione produrrà nel circuito di placca la corrente rappresentata nella figura 319 *a*), che è una corrente demodulata e quindi (vedi nr. 278)

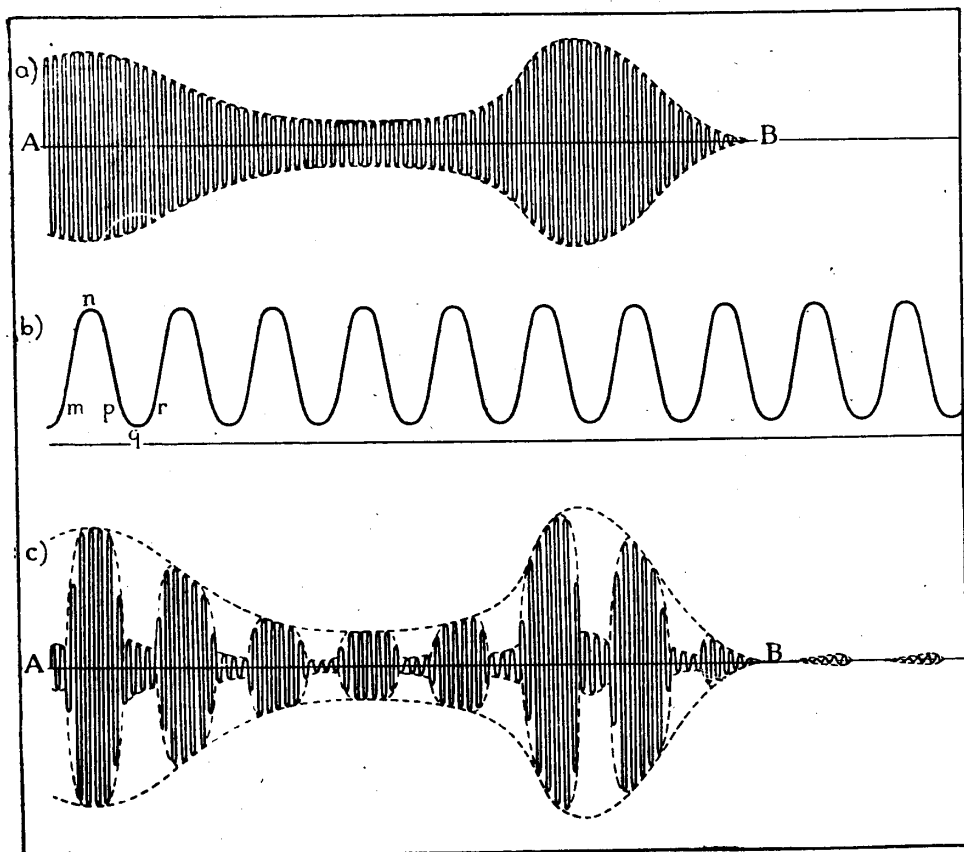



Fig. 318.

scomponibile in varie correnti di diversa frequenza. La prima di tali correnti (fig. 319 *b*) mantiene la radiofrequenza dell' onda portante, ma ha l' ampiezza variante con la frequenza intermedia; la seconda (fig. 319 *c*) mantiene la frequenza intermedia di superreazione, ma con ampiezza variante con la frequenza udibile della prima modulazione; è quindi anch' essa ultraudibile. Una terza (fig. 319 *d*) è la corrente a frequenza udibile, di andamento identico a quello della modulazione. Infine la corrente 319 *e*) è una corrente continua, che va a modificare il magnetismo dell' elettrocalamita del telefono. Le correnti a frequenza ultracustica trovano passaggio attraverso la capacità; la corrente *d*) ar-

riva al telefono (se occorre con l' intermedio di amplificazione a b. f.) e vi riproduce il suono della modulazione impressa, nella stazione trasmittente, all' onda portante.

Nella curva 318 c) le oscillazioni che si hanno dopo la cessazione della f. e. m. oscillante esterna (e cioè dopo il punto B) sono quelle che si iniziano spontaneamente nel circuito, non appena la tensione di placca raggiunge il valore sufficiente. Tali oscillazioni sono più deboli di quelle dovute alla f. e. m. proveniente dalle oscillazioni in arrivo, poichè occorre un certo tempo perchè esse possano raggiungere da sole l'ampiezza

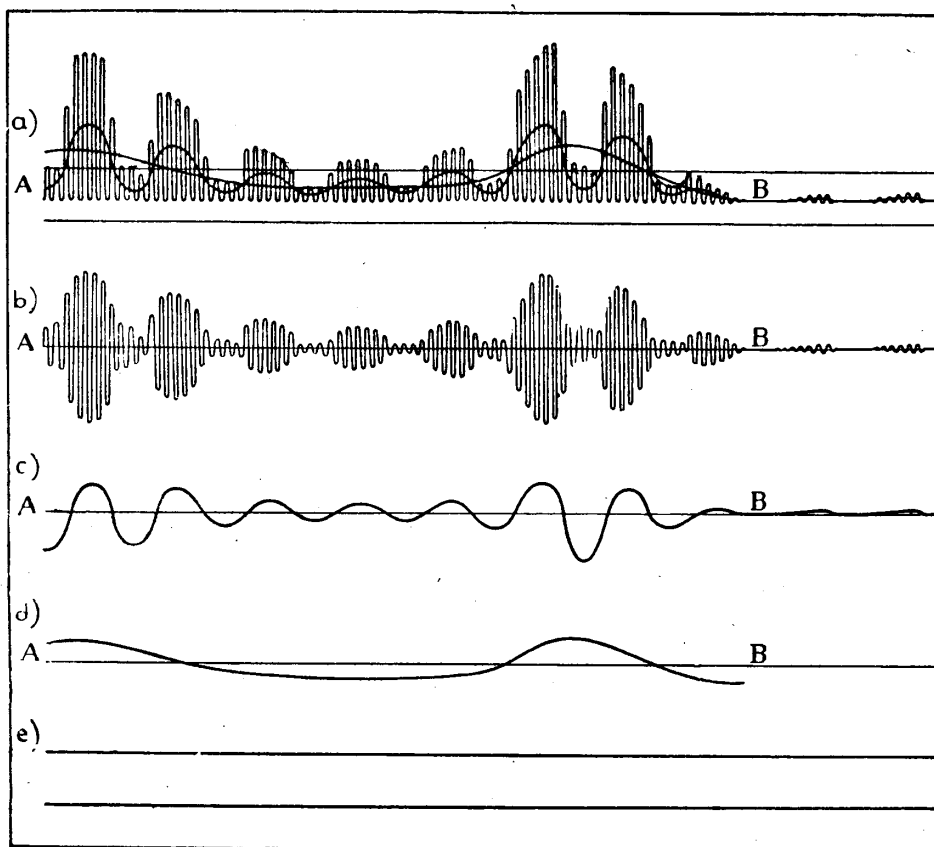



Fig. 319.

di regime, mentre la modulazione di superreazione le spegne periodicamente prima che tale ampiezza sia raggiunta. Essendo divise in gruppi che si succedono con frequenza ultraudibile, esse non producono alcun fenomeno acustico, come si vede dalla fig. 319.

Il dispositivo può impiegare una o due o tre valvole. Nel primo caso una valvola sola funziona da rivelatrice e da amplificatrice a reazione, nonchè da generatrice della frequenza ultraudibile ; nel secondo caso una valvola è rivelatrice ed amplificatrice e l'altra generatrice ; nel terzo caso le tre funzioni sono divise fra le tre valvole, essendo la prima amplificatrice, la seconda oscillatrice, la terza rivelatrice.

La fig. 320 rappresenta lo schema di un apparecchio in superreazione ad una sola valvola. Ai due capi A B si collega l'aereo a quadro (1) od il secondario del jigger di accoppiamento con un aereo normale. Il circuito di placca, oltre alla bobina di reazione L_2 accoppiata con L_1 della griglia, ha un circuito sintonico L_3 C_3, accordato sulla frequenza ultraudibile, il quale a sua volta accoppia con quello L_4 C_4 per produrre la frequenza ultraudibile. Il condensatore C_5 è destinato al passaggio delle oscillazioni ad alta frequenza nel circuito anodico. Lo schema si può semplificare in quello della fig. 321, dove gli elementi hanno le stesse annotazioni. Supposto che si riceva su onda di 450 m. (frequenza 670.000) e che l' interruzione per la super-reazione avvenga con frequenza

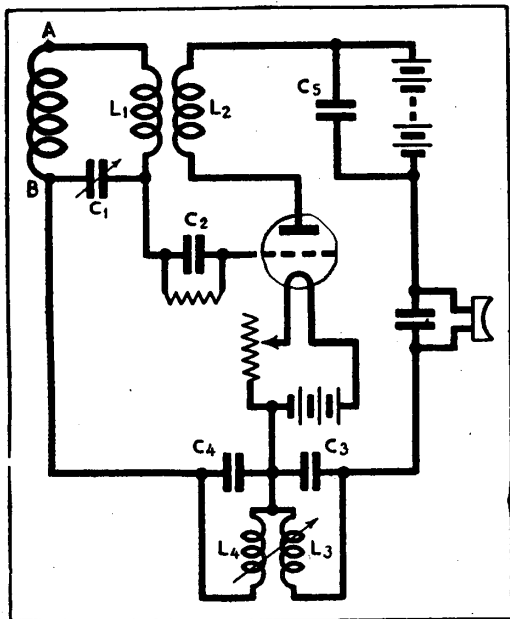



Fig. 320.

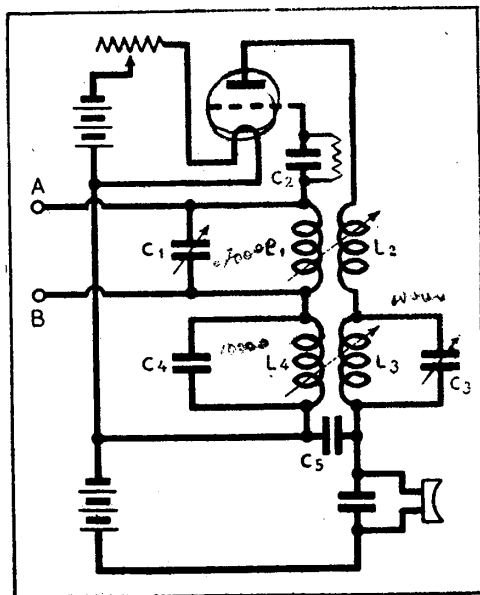



Fig. 321.

di 10.000, allora nel circuito L_4 C_4 accordato in precedenza ed in modo fisso per 10.000 si mantiene una oscillazione di tale frequenza, alimentata dal circuito L_3 C_3 per mezzo dell'accoppiamento L_3 L_4; la griglia subisce quindi le alternative di potenziale a frequenza 10.000 per la presenza del circuito L_4 C_4. Il circuito L_1 C_1 è accordato per frequenza 670.000; data la reazione L_1 L_2 esso potrebbe innescare le oscillazioni se la griglia lo permettesse; ma la variazione di potenziale a frequenza 10·000 di questa le interrompe a frequenza ultraudibile. Poichè la valvola (fig. 320) è munita di condensatore shuntato di griglia, essa funziona da rivelatrice.

Gli schemi a fig. 322 e 323 rappresentano i circuiti con due valvole; nella fig. 322 la prima valvola è rivelatrice a reazione, la seconda generatrice, nella fig. 323 la prima è amplificatrice ed oscillatrice, la seconda rivelatrice.

---

(1) Per tali aerei vedi più avanti al nr. 309.

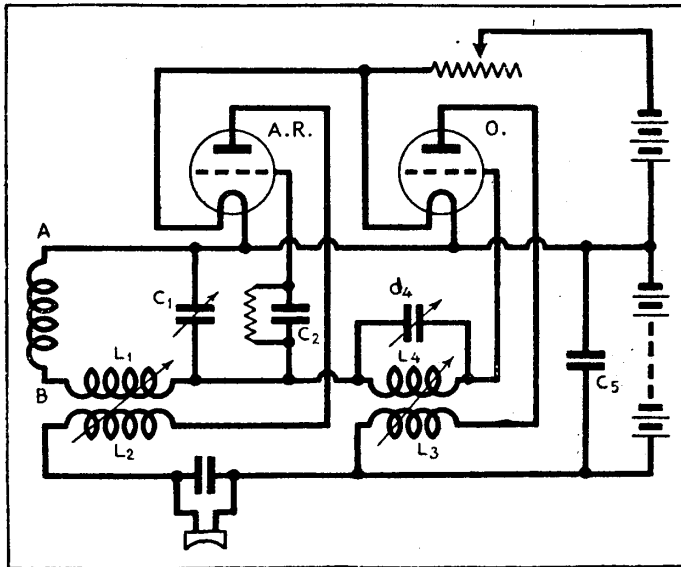



Fig. 322.

Per il funzionamento della superreazione occorre che la reazione sia piuttosto forte, e che l'accordo sia ottenuto con un solo condensatore; allora, variando l'accoppiamento

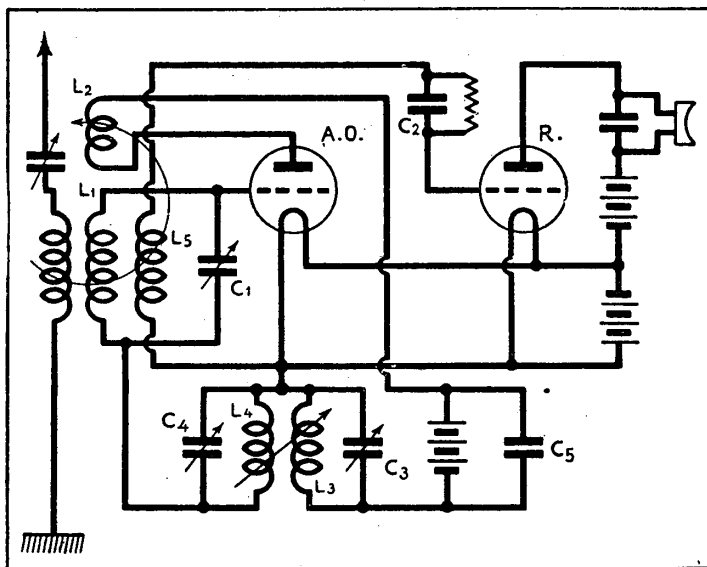



Fig. 323.

L_3 L_4, si fa innescare il circuito L_4 C_4 a 10.000 periodi; si aumenta poi l'accoppiamento L_1 L_2 fino a che si ha un fischio acutissimo nei telefoni; si cercherà di spegnere tale

fischio, ricorrendo alla regolazione degli accoppiamenti, e specialmente a quella dell'accensione della valvola in superreazione e di quella ultraudibile. Una accensione troppo spinta può mantenere l' innesco, anche quando dovrebbe smorzarsi : una accensione debole può disinnescare la reazione anche quando dovrebbe innescare. È bene perciò disporre una regolazione molto delicata dell'accensione di tali valvole.

La frequenza di 10.000 indicata non è naturalmente tassativa ; essa può prestarsi bene nella ricezione di segnali telegrafici : mentre per la telefonia è preferibile alzarla fino a 15.000 o 20.000. Ciò si ottiene semplicemente modificando la capacità dei condensatori C_3 e C_4.

Occorre notare che gli apparecchi riceventi a superreazione sono adatti solo per onde minori di 1000 m. ; che il rendimento è tanto migliore quanto più corta è l'onda; e che la regolazione è piuttosto delicata. Inoltre non è consigliabile attaccarli ad un aereo normale, perchè questo darebbe certo luogo ad una irradiazione, a causa della reazione piuttosto forte, ed è quindi buona pratica usarli con aerei a telaio. Si prestano poi poco per la ricezione di onde smorzate ; meglio per quella di onde modulate (a cicala od in telefonia) ; bene per le trasmissioni telegrafiche ad onde persistenti.

301. - CIRCUITI A CAMBIAMENTO DI FREQUENZA. — Hanno tale denominazione circuiti in cui si ottiene un cambiamento nella frequenza, la quale viene ridotta ad essere minore di quella corrispondente all' onda ricevuta ; questa frequenza viene amplificata e poi rivelata. Tali circuiti servono specialmente per la ricezione di onde smorzate o radiotelefoniche.

Per ottenere quanto sopra si ricorre ad una eterodina di frequenza tale che, interferendo con le oscillazioni in arrivo, dia dei battimenti (differenza tra le due frequenze in questione) aventi una frequenza detta intermedia, ancora ultraudibile. Una prima rivelazione libera questa frequenza intermedia, che viene amplificata e poi nuovamente rivelata, con maggior rendimento.

Per rendere più selettiva la ricezione, l'amplificazione a frequenza intermedia è fatta con varî circuiti a risonanza anodica, tutti sintonizzati su tale frequenza, cosicchè essi costituiscono una specie di filtro ad alta frequenza, che elimina in modo molto efficiente tutte le frequenze di disturbo. Una volta disposta l' eterodina su una frequenza che differisca da quella dell' onda in arrivo esattamente della frequenza intermedia, allora la corrente rivelata dal primo rivelatore e avente la frequenza dei battimenti sarà trasmessa dalle valvole amplificatrici accordate su tale frequenza ; qualunque frequenza incidente diversa, determinando battimenti differenti, sarà attenuata. La frequenza intermedia può con varie valvole accordate, essere molto amplificata, e quindi più efficacemente rivelata, nonchè in seguito, se occorre, ulteriormente amplificata in bassa frequenza.

In definitiva dunque si avrà nella supereterodina : un circuito d'aereo ; una valvola oscillatrice (eterodina) ; una rivelatrice della frequenza intermedia ; alcune amplificatrici accordate su tale frequenza intermedia ; una rivelatrice della bassa frequenza ; alcune amplificatrici a bassa. Solo il circuito di aereo e la eterodina debbono essere di volta in volta accordati sull'onda da ricevere. In genere è

inoltre molto utile anche una precedente amplificazione ad a. f. per ridurre ancora le possibilità di interferenze e aumentare la sensibilità dell'apparato.

La supereterodina ottiene così una grande purezza (poichè ha l'amplificazione preponderante sull'alta e sulla media frequenza che sono sempre ultraudibili); una grande sensibilità (perché sfrutta l'amplificazione ad a. f. con l'eterodina); una grande semplicità di maneggio, per avere due sole regolazioni, che nelle supereterodine moderne sono ridotte ad un'unica manovra, accoppiando meccanicamente i condensatori di regolazione, anche quando esiste l'amplificazione ad a. f.; una grande selettività, per l'effetto di filtro dei circuiti accordati sulla frequenza intermedia; infine essa può fare a meno della reazione, per la grande amplificazione, che si raggiunge evitando il difetto delle oscillazioni sull'aereo. Abbisogna però di molte valvole e di una grande accuratezza nella regolazione dell'amplificatore a frequenza intermedia.

È importante esaminare l'aumento della selettività che si ottiene col cambiamento di frequenza.

302. - FUNZIONAMENTO DELLA SUPERETERODINA. — Si consideri un'onda incidente, ad es. di 600 kc. al sec. cioè lunga 500 metri. Se l'amplificatore intermedio è accordato ad es. su 100 kc., cioè su 3000 m., si dovrà regolare la eterodina in modo che i battimenti con l'onda incidente abbiano frequenza 100 kc., cioè occorre regolare l'eterodina su 500 kc. (600 m.) oppure su 700 kc. (428 m.) (Si hanno dunque sempre due posizioni della eterodina che danno la ricezione). Dopo la rettificazione si otterrà la frequenza di 100 kc/sec., che sarà amplificata dall'amplificatore intermedio, già accordato su tale frequenza. È importante notare che la corrente di frequenza 100 kc/sec. così ottenuta riesce modulata identicamente all'onda di 600 kc/sec. originale, come si può dimostrare anche teoricamente; cosicchè se questa era radiotelefonica, anche l'onda intermedia sarà radiotelefonica, con modulazione identica a quella originale. Basterà quindi semplicemente rettificare la frequenza intermedia, per ottenere la bassa frequenza telefonica, che si potrà poi amplificare in bassa. Lo stesso dicasi se l'onda incidente è smorzata o modulata: la bassa frequenza ottenuta è identica a quella che si avrebbe rettificando la emissione di frequenza originale.

Si supponga ora che un'onda di 610 kc/sec incida sull'aereo con forza pressapoco uguale a quella da ricevere di 600 kc/sec. L'amplificatore ad a. f., se è accordato con 600 kc., produrrà una prima attenuazione dell'onda intrusa, che è con esso disaccordata; ma la maggiore attenuazione si otterrà nell'amplificatore intermedio. Infatti, la 610 kc. interferendo ad es. con quella 700 kc. darà 90 kc., oppure con la 500 darà 110 kc., mentre l'amplificatore intermedio è accordato su 100 kc.

Sull'amplificatore intermedio essa si troverà quindi disaccordata del 10 %, mentre sull'amplificatore ad a. f. era appena disaccordata di 10 su 600, cioè di 1.66 %. Il cambiamento di frequenza produce dunque un aumento di disaccordo per le onde diverse da quelle che si devono ricevere, e quindi contribuisce ad attenuare

per selettività elettrica le interferenze. Questo effetto è tanto più grande quanto più la frequenza intermedia è piccola di fronte a quella da ricevere. Sembrerebbe quindi che vi sia vantaggio a diminuire più che possibile la frequenza dell'amplificatore intermedio.

Però esagerando in questo senso si arriva a frequenze tanto basse da richiedere bobine e capacità molto grosse, e quindi soggette a perdite maggiori. D'altra parte si corre il pericolo che una emissione estranea, che differisca da quella da ricevere di una quantità uguale alla frequenza intermedia (supposta piccola), e che perciò riesca poco attenuata dall'amplificatore ad a. f., sia eterodinata dall'emissione che si riceve, dando luogo a battimenti di frequenza uguale o quasi alla intermedia; essa passerebbe quindi nell'amplificatore intermedio, sarebbe rivelata e disturberebbe con un suono molto forte. Analogamente si

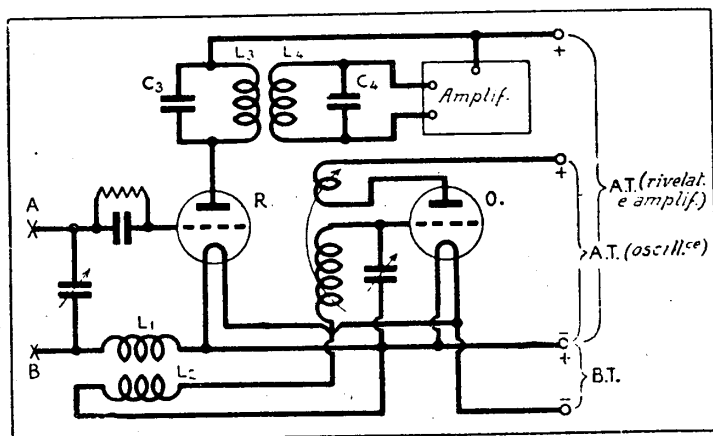



Fig. 324.

ragiona per una trasmissione estranea, che differisca da quella da ricevere del doppio della frequenza intermedia, e che quindi possa essere eterodinata dalla stessa eterodina dell'apparato.

Una frequenza intermedia troppo piccola faciliterebbe cioè le interferenze di emissioni non desiderate, mentre una frequenza intermedia troppo alta contribuirebbe poco alla selettività. In pratica le migliori frequenze intermedie sono quelle comprese tra $\frac{1}{3}$ e $\frac{1}{8}$ della frequenza da ricevere. Per le onde radiofoniche, comprese tra 500 e 1500 kc/sec le frequenze più convenienti si aggirano su 180 kc/sec.

Con le supereterodine si ha spesso il pericolo di eccedere in selettività, il che può essere dannoso per la purezza della ricezione radiofonica, come si vedrà, perché riduce troppo le frequenze laterali dello spettro radiofonico. Perciò si suole in qualche caso attenuare la selettività smorzando i circuiti con resistenze disposte in parallelo o in serie ai circuiti dell'amplificatore intermedio.

303. - SUPERETERODINA CLASSICA. — È rappresentata nello schema a fig. 324. La prima valvola è rivelatrice ed il suo circuito di griglia, oltre che collegato al circuito oscillante d'ingresso, è munito di accoppiamento induttivo (L_1 L_2) con la valvola oscillatrice. Sulla placca della rivelatrice un circuito sintonico L_3 C_3 è accordato per la frequenza dei battimenti, e con accoppiamento induttivo trasferisce quest'ultima sul circuito sintonico L_4 C_4 di ingresso dell'amplificatore della frequenza intermedia.

Uno schema completo di supereterodina del tipo classico, con tutti gli elementi, è quello della fig. 325, che ha otto valvole, di cui una oscillatrice (eterodina), tre amplificatrici sulla frequenza intermedia, due amplificatrici a bassa, e due rivelatrici, una sull'alta frequenza, una sulla frequenza intermedia. Si potrebbe anche disporre un'amplificazione sull'alta frequenza, prima della rivelatrice; l'eterodina dovrebbe agire sull'uscita di tale amplificazione.

È da tener presente che nelle moderne eterodine le amplificazioni dell'a. f. e della frequenza intermedia, essendo sempre accordate, sono anche sempre neutralizzate, a meno che non siano ricavate con tetrodi schermati.

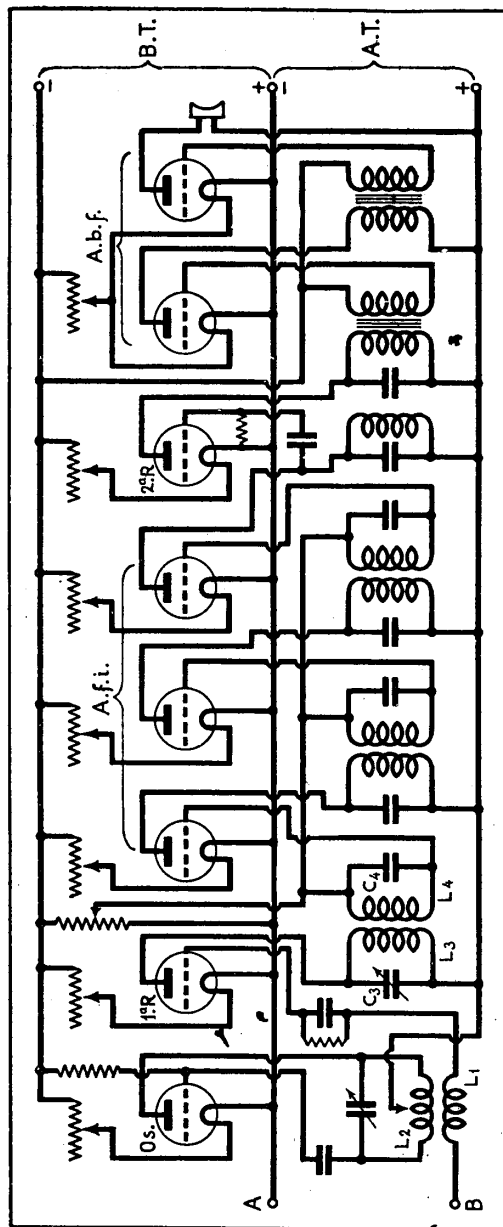



Fig. 325.

304. - CIRCUITO ULTRADINA. — Si può fare in modo che l'effetto di interferenza, e quindi la produzione dei battimenti a frequenza intermedia, si verifichi, anzichè agendo sulla griglia, modificando la tensione di placca della prima valvola, sulla cui griglia è ricavato il circuito di aereo, con una specie di modulazione ad altissima frequenza,

ottenuta a mezzo della valvola oscillatrice. Si ha così il circuito della fig. 326, che ha la denominazione di *ultradina.*

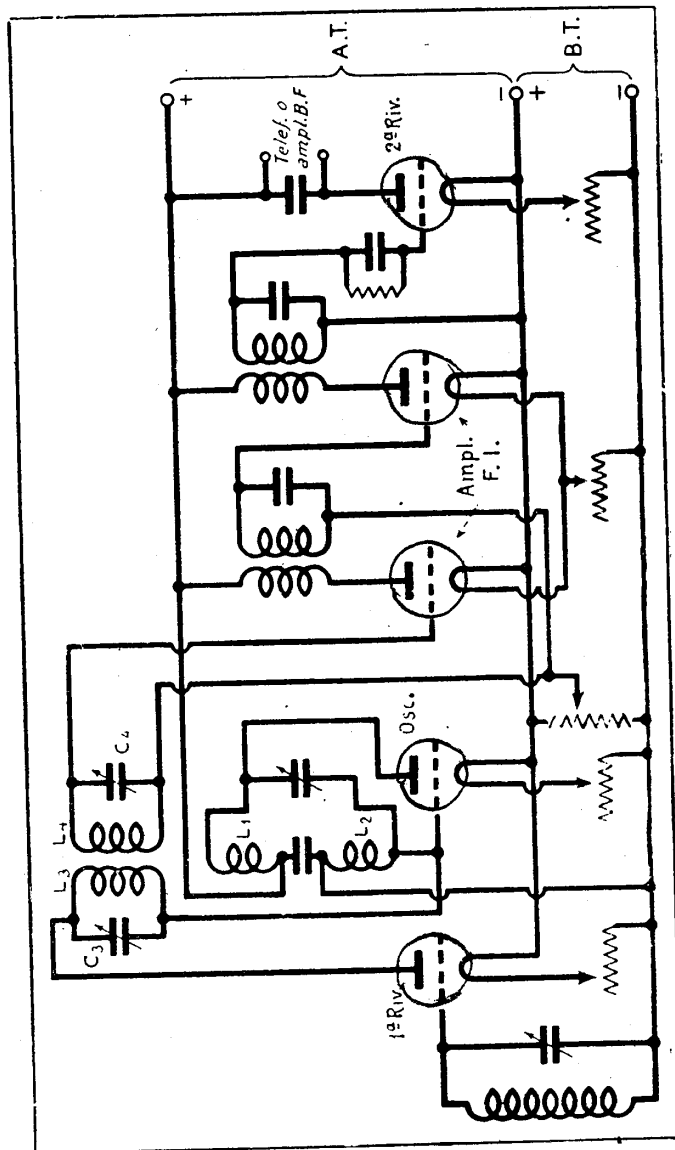



Fig. 326.

Questo sistema rende superfluo un apposito triodo rivelatore, perchè le oscillazioni prodotte dal generatore, essendo impresse sulla placca della prima valvola, sono rettificate da questa come se si trattasse di un diodo. Se sulla griglia della prima valvola esiste una tensione alternativa, costante di ampiezza, ma di

frequenza diversa da quella oscillatrice, il risultato sarà una serie di battimenti di frequenza compresa fra le due, e di ampiezza variante con frequenza eguale alla differenza tra le due frequenze (frequenza intermedia). Per l'effetto rivelatore della placca della prima valvola (come diodo), si otterrà la sovrapposizione dell'alta frequenza e della frequenza intermedia. Il circuito accordato sulla media frequenza, e che trovasi sulla placca della stessa valvola (detta anche modulatrice), sarà così eccitato da questa frequenza, la quale verrà poi amplificata dall'amplificatore intermedio. Se la tensione della griglia della prima valvola è modulata, riuscirà modulata anche la frequenza intermedia, e la seconda rivelazione produrrà la demodulazione necessaria.

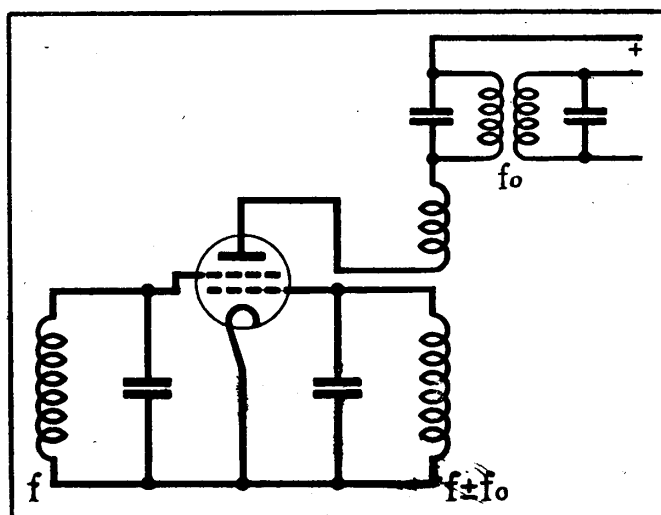



Fig. 327.

Una variante della ultradina è il tetrodo modulatore che riunisce in una sola valvola le funzioni delle due precedenti (fig. 327). La griglia interna (più vicina al filamento) viene utilizzata per generare l'oscillazione locale e per la rettificazione, mentre l'altra griglia viene collegata all'aereo e fa da griglia modulatrice. Sulla placca sono la reazione per l'innesco della eterodina, e il circuito accordato sulla frequenza intermedia.

305. - CIRCUITO TROPADINA. — Se si dispongono i circuiti in modo che la prima valvola sia contemporaneamente rivelatrice sull'alta frequenza e generatrice per produrre battimenti a frequenza intermedia (e cioè rivelatrice ed endodina), si ha lo schema della figura 328 e l'apparecchio ha la denominazione di *tropadina.*

Il collegamento del circuito d'aereo al centro della induttanza del circuito generatore sulla griglia è consigliato dalla necessità di rendere l'accordo del-

l'aereo indipendente da quello del generatore. La scelta opportuna del punto di collegamento fornisce questa indipendenza. Allo stesso scopo serve anche la re-

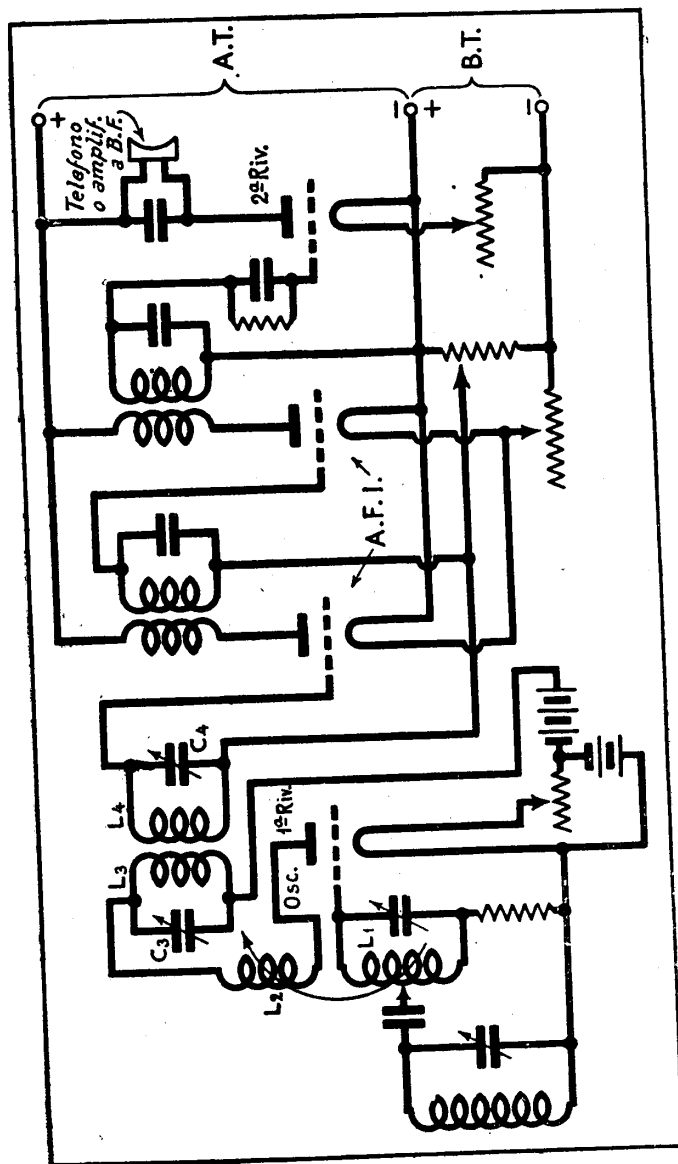



Fig. 328.

sistenza fra il circuito oscillante generatore ed il filamento. Detta resistenza funziona pure per la rivelazione di griglia, di cui il condensatore è quello che collega il circuito d'aereo col centro della induttanza del circuito generatore di griglia.

Vi sono varianti di questo metodo, sempre con lo scopo di rendere indipendente l'accordo del circuito d'aereo da quello dell'eterodina; tali sono la supereterodina di Hartley e il generatore seconda armonica. Quest'ultimo ottiene la

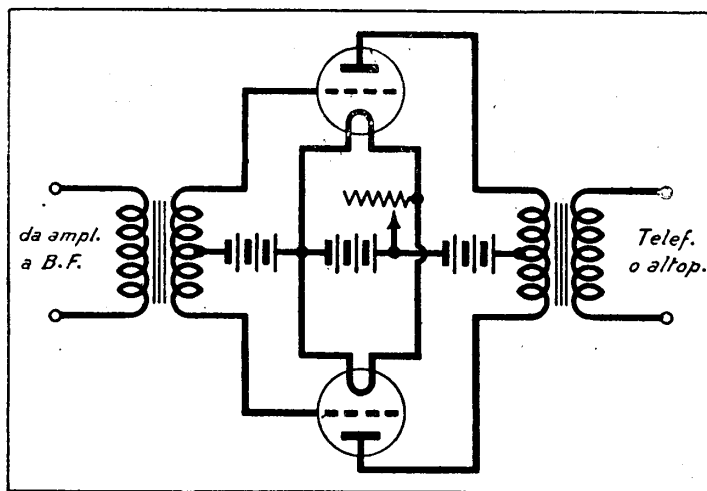



Fig. 329.

indipendenza suddetta accordando l'eterodina su una frequenza metà di quella che poi viene utilizzata.

306. - AMPLIFICATORE AD ALTALENA (A PUSH-PULL). — È un amplificatore per la bassa frequenza (fig. 329), a due valvole, disposte con le due griglie ai

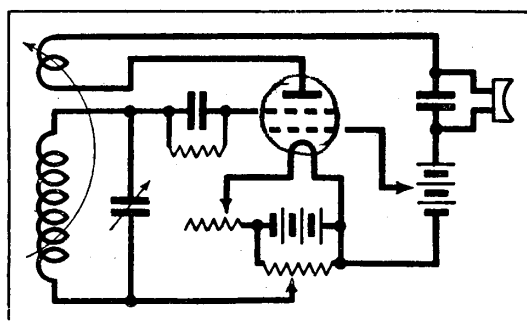



Fig. 330.

capi del secondario del trasformatore d'ingresso, e le due placche ai capi del primario del trasformatore d'uscita. I circuiti di griglia si chiudono al filamento con un collegamento che si attacca al centro del secondario del trasformatore d'ingresso; e la batteria anodica è disposta fra il centro del primario del tra-

sformatore d'uscita ed i filamenti. Ha sugli altri amplificatori a b. f. il vantaggio di una maggiore silenziosità e di una minore distorsione, perchè i difetti eventuali delle valvole e gli altri disturbi di origine interna tendono ad annullarsi vicendevolmente.

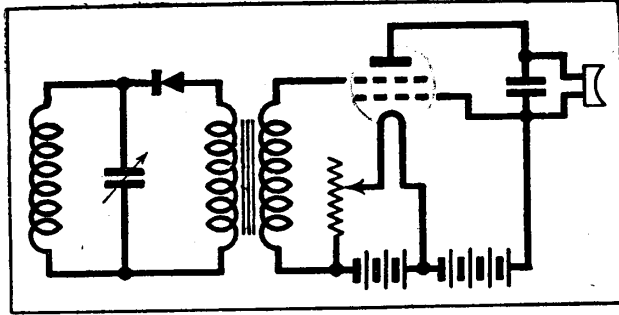



Fig. 331.

307. - CIRCUITI A TETRODI ANTICARICA SPAZIALE (bigriglia). — Alle figure 330 e 331 sono dati due schemi di circuiti con tetrodi di detto tipo. Nel primo la valvola a due griglie è rivelatrice con amplificazione a reazione, con bobina di accoppiamento sulla placca. In questa disposizione si può ridurre al minimo la tensione di placca, essendo spesso sufficente quella della batteria del

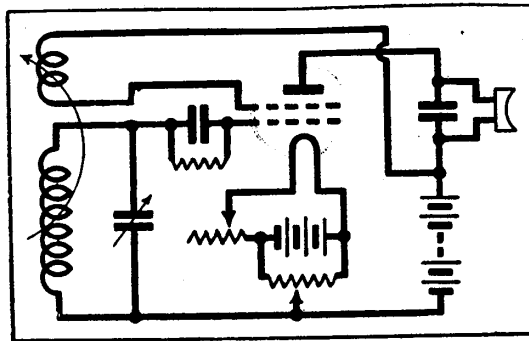



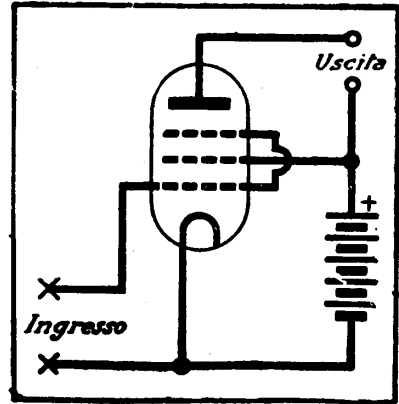
Fig. 332.

filamento, che dev'essere disposta con il positivo alla placca (valvola con griglia anticarica).

La figura 331 è lo schema di un amplificatore a b. f. a tetrodo anticarica spaziale. Anche qui si può ridurre la tensione di placca a quella della batteria di accensione. Nella fig. 332 è un esempio di tetrodo, con entrambe le griglie di controllo, una per il circuito di griglia, l'altra per la reazione, che avviene così indipendentemente dalla rettificazione.

308. - Circuiti con tetrodi a griglia schermante (Valvole schermate). — Queste bigriglie sono oggidì molto più importanti delle precedenti anticarica spaziale. Si sono già date varie applicazioni di questi tetrodi, sia come amplificatori ad a. f. a risonanza, sia come amplificatori a resistenza e capacità per alta e bassa frequenza, ed anche per corrente continua.

Fig. 333.

Per le basse frequenze, e in genere per amplificazione di potenza, sono pure molto adottati i pentodi, di cui l' impiego è molto semplice, essendo usati come i triodi, con la sola differenza che la griglia schermo è collegata direttamente al positivo della batteria anodica, e cioè prima del circuito di uscita (fig. 333).

Capitolo XXI.

La ricezione a telaio e la radiogoniometria.

309. - Proprietà direttive dei telai. — L'introduzione degli amplificatori a valvola ha negli ultimi tempi diffuso l'impiego dell'aereo a telaio, nonostante che tale aereo sia, per proprietà radiative, molto meno efficiente dell'aereo ad antenna.

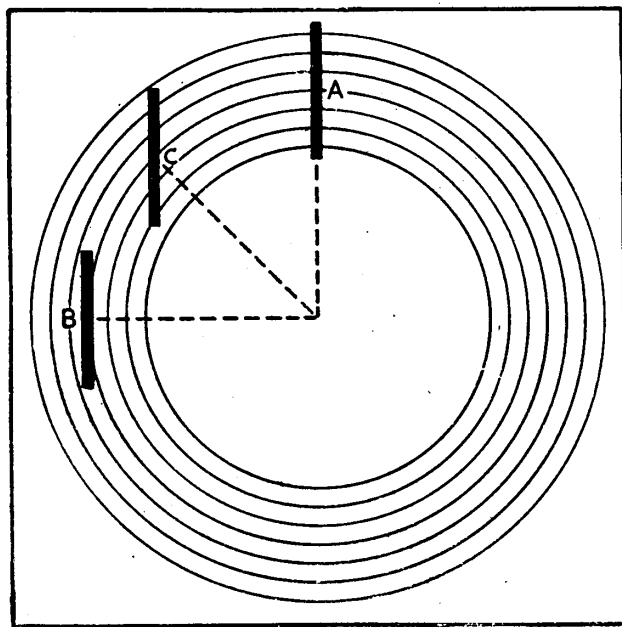



Fig. 334.

Un aereo a telaio è costituito da un avvolgimento di una o più spire, di solito disposte col piano verticale, di forma generalmente quadrata, o circolare, nel quale in genere il lato (od il raggio) è molto maggiore della lunghezza dell'avvolgimento stesso, misurato nel senso assiale, e cioè perpendicolarmente al piano del telaio.

L'aereo ad antenna utilizza il campo elettrico delle onde e. m.; la f. e. m. che in esso si viene a creare è dovuta precisamente alle linee di forza elettrica che sono press'a poco verticali, ed è proporzionale quindi all'intensità del campo elettrico ed all'altezza dell'aereo. L'aereo a telaio utilizza invece il campo magnetico delle onde e. m.; la f. e. m. che in esso si produce è dovuta alle linee di forza magnetica, che sono orizzontali, e per la legge dell'induzione e. m. (nr. 56) è misurata dalla variazione del flusso concatenato. Essa è quindi proporzionale al flusso magnetico che viene abbracciato dal telaio e

quindi alla sua aerea moltiplicata pel numero delle spire, ed alla intensità del campo magnetico, nonchè alla frequenza del campo stesso.

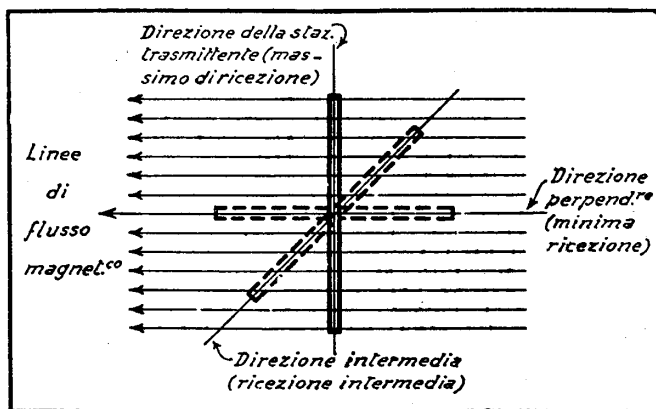
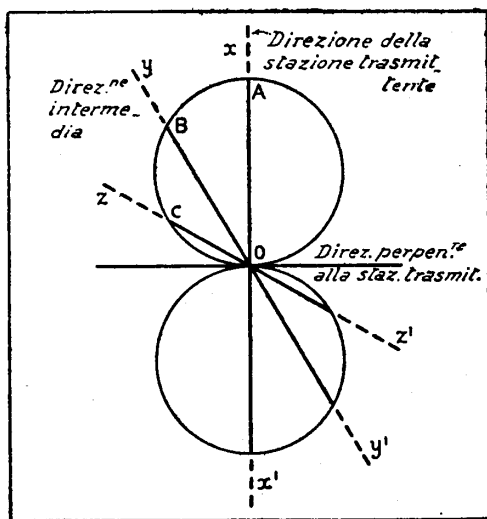



Fig. 335.

Le linee di forza del campo magnetico sono dei cerchi orizzontali (fig. 334), che hanno per centro l' antenna trasmittente. Ma a grande distanza dalla stazione trasmittente, le linee di forza si possono considerare rettilinee (fig. 335) e perpendicolari alla congiungente del posto trasmittente con il posto ricevente. Affinchè venga abbracciato il massimo flusso magnetico è necessario che il telaio sia disposto verticalmente, con il piano diretto verso la stazione trasmittente (posizione A della fig. 334). Se esso si disponesse perpendicolare alla congiungente con la stazione trasmittente (posizione B), esso risulterebbe tangente alle linee di forza e nessuna di esse verrebbe abbracciata dalle sue spire.

Fig. 336.

Nelle posizioni intermedie (C della figura), viene abbracciato un certo flusso ma in quantità minore che nel caso della posizione A, e tanto minore quanto più la posizione si avvicina a quella B.

Nella fig. 336 è rappresentato il diagramma polare che indica la misura di cui diminuisce la ricezione col variare dell' orientamento del telaio. Se nella posizione OX, diretta verso la stazione trasmittente, la ricezione si rappresenta con

il segmento OA, nelle direzioni intermedie OY, OZ, la ricezione sarà proporzionale ai segmenti OB, OC; e finalmente nella posizione perpendicolare ad OX la ricezione sarà nulla (nessun segmento è intercettabile nel diagramma polare in tale direzione). Il diagramma rappresenta dunque la proprietà direttiva degli aerei a telaio.

310 - Dati pratici sui telai. — I dati più importanti circa i telai si desumono dalle considerazioni seguenti.

Mentre l' aereo ad antenne può essere assimilato ad un condensatore, l' aereo a telaio può assimilarsi ad una induttanza. L' aereo ad antenne si accorda con l' onda da ricevere aggiungendo in serie una induttanza di accordo: il telaio si accorda derivando ai suoi estremi un condensatore. L' insieme della capacità del condensatore e della induttanza del telaio costituisce un circuito oscillante. Se il condensatore si fa variabile, si può far assumere al circuito stesso qualunque frequenza, e metterlo quindi in risonanza con l' onda da ricevere. Quando si ha tale risonanza, l' intensità della corrente nel telaio è massima, ed il valore di essa è allora misurato dal rapporto tra la f. e. m. agente e la resistenza totale del circuito. Ora la f. e. m. agente sul telaio, quando questo è orientato nella direzione della stazione trasmittente, è proporzionale, come già detto, all' area del telaio stesso, al numero delle sue spire ed alla frequenza della oscillazione. Nel telaio dunque, per avere la massima ricezione su una data onda, fa d'uopo:

a) disporne il piano verticalmente, nella direzione della stazione trasmittente;

b) aumentarne quanto possibile l'area;

c) accordarne il circuito con l' onda che si vuol ricevere.

Per quanto riguarda il numero delle spire, potrebbe sembrare conveniente aumentarlo più che possibile, allo scopo di aumentare la f. e. m. agente. Si deve però al riguardo osservare che;

1° a misura che aumenta il numero delle spire, aumenta anche l' induttanza del telaio. Se l'onda da ricevere è fissa, aumentando l' induttanza si dovrà diminuire contemporaneamente la capacità; ma in pratica non è possibile arrivare a capacità molto piccole, poichè ad un certo punto la capacità propria del telaio può già essere superiore a quella che occorrerebbe inserire; in altre parole, aumentando il numero delle spire, il telaio acquista man mano una maggiore capacità propria, che lo fa diventare un vero circuito oscillante, avente una frequenza propria ed una propria lunghezza di onda, la quale si aggira per solito intorno a 5-6 volte la lunghezza del filo impiegato (almeno in quei telai in cui la lunghezza dell' avvolgimento è minore della quinta parte circa del lato). Affinchè si possa accordare il telaio mediante la regolazione di una capacità aggiunta, dato che questa, fa aumentare l' onda del circuito oscillante, è necessario dunque che l' onda propria del telaio (senza capacità aggiunta) sia inferiore a quella che si vuol ricevere. Ad es.: volendo ricevere l' onda di 600 metri con

un telaio quadro di due metri di lato, si dovrà tener conto che ogni spira, lunga 8 metri, apporta all' incirca $8 \times 6 = 48$ metri di onda fondamentale; quindi non si potranno in ogni caso impiegare più di 10 - 12 spire. Un'altra limitazione è stata però rilevata, e cioè che la resistenza effettiva del telaio aumenta a misura che aumenta la frequenza dell'onda che vi circola (effetto di pelle), cioè a misura che diminuisce l'onda su cui si vuole accordare. Non è quindi conveniente ridurre troppo l'onda per un dato telaio, nè aumentare troppo le spire per una data onda da ricevere. Si può dare come regola che la lunghezza totale dell' avvolgimento non deve essere superiore ad un decimo circa della minima onda che si vuol ricevere. Da ciò una prima limitazione del numero delle spire. Nel caso precedente il numero delle spire si riduce così a 7, in modo che la lunghezza dell'avvolgimento (56 m.) non superi il decimo dell'onda da ricevere (600 m.);

2^0 aumentando il numero delle spire si aumenta anche la lunghezza del filo, e quindi si aumenta la sua resistenza, indipendentemente dall'aumento dovuto all'alta frequenza, di cui si disse. Vengono così aumentate contemporaneamente, e nella stessa proporzione, la f. e. m. e la resistenza totale; la corrente quindi non aumenta. Per contro, un aumento della induttanza del telaio riduce la capacità necessaria per l'accordo, il che fa aumentare la d. d. p. alle armature del condensatore. Si può concludere che, se interessa avere molta corrente, sarà preferibile avere piccolo numero di spire e forte capacità; mentre, se interessa avere molta d. d. p. si dovrà fare il contrario; come regola, è però sempre preferibile, quando possibile, usare telai grandi, di poche spire, anzichè piccoli, di molte spire;

3^0 anche la distanza fra le varie spire influisce sulla ricezione, nel senso che in generale conviene mantenere le spire piuttosto distanti fra di loro, e bene isolate. Sarà conveniente usare fili grossi ed isolati in seta od in gomma, facendoli appoggiare non direttamente sul legno del telaio, ma su appositi risalti in ebanite, o altro buon isolante;

4^0 quando siano fissati il condensatore da usare e l'onda da ricevere, resta determinata l' induttanza del telaio; e se si fissa anche il lato del telaio, si può stabilire il numero delle spire. Una formula comoda, per quanto solo approssimativa, per tale calcolo, e che vale soltanto se il lato del telaio è compreso all' incirca tra 15 e 50 volte la lunghezza totale dell'avvolgimento (non del filo), misurata perpendicolarmente al piano del telaio, è la seguente, che dà l' induttanza in microhenry, essendo a il lato del telaio espresso in metri, ed n il numero delle spire:

$$L = 3\,a\,n^2 \qquad (75)$$

Ad es. un telaio di un metro di lato, di 10 spire, avrà circa $L = 3 \cdot 1 \cdot 10^2 = 300$ microhenry di induttanza.

Circa i condensatori, in pratica quelli impiegati con i telai sono sempre ad aria, a capacità variabile con continuità da un minimo di circa 100 μμF., ad un massimo di circa 3 millimicrofarad. Si useranno i condensatori di minore capacità per le onde più corte, riservando i maggiori per quelle più lunghe.

311. - RICEZIONE CON TELAI. — Data la impossibilità di usare telai di troppo grandi dimensioni, la f. e. m. indotta nei telai è sempre piuttosto piccola, tanto da rendere necessario aumentare l'efficienza della ricezione usando degli amplificatori.

In genere quindi gli estremi del telaio collegati al condensatore di accordo fanno capo uno alla griglia, l'altro al filamento di una valvola amplificatrice in

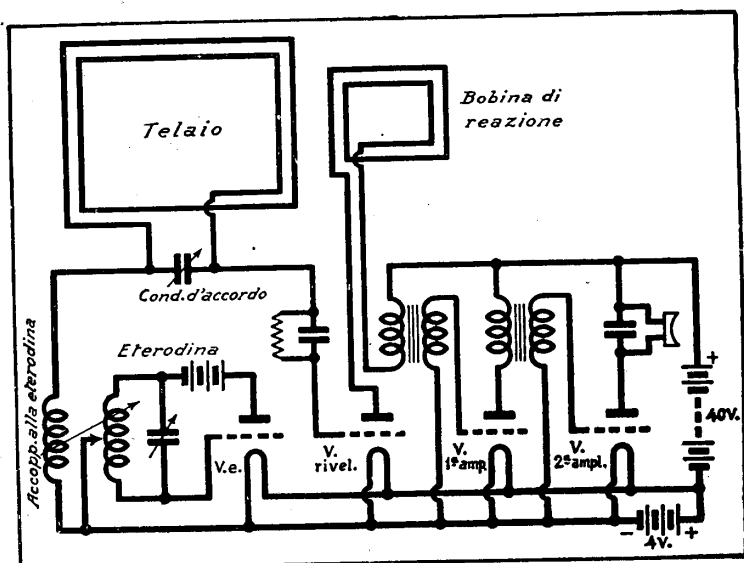



Fig. 337.

genere ad alta frequenza, alla quale possono seguire altre, per la ulteriore amplificazione, la rettificazione e l'amplificazione a bassa frequenza. Un'amplificazione conveniente nel caso dei telai è quella a reazione; poichè in questo caso non è da temere troppo l'irradiazione per parte dell'aereo, data la limitata proprietà radiativa del telaio.

La fig. 337 rappresenta uno schema molto comodo in pratica per la ricezione radiotelegrafica con telai, specie per onde piuttosto lunghe (1).

Tutti i circuiti a supereterodina sono adatti per la ricezione con i telai.

312. - RADIOGONIOMETRIA. — La proprietà direttiva del telaio, indicata dal diagramma polare della fig. 336 si presta ottimamente per la determinazione

(1) Vedi « Bollettino R. T. del R. Esercito » - luglio 1922.

della ubicazione di una stazione trasmittente. Risulta infatti dal diagramma che quando il telaio si trova press'a poco nella direzione di ricezione minima, la intensità dei suoni nel telefono cambia notevolmente, anche per piccole variazioni nell'orientamento del telaio: cosicchè la posizione di ricezione nulla risulta molto nettamente determinata dal fatto che non appena ci si sposta anche di poco da essa, l'intensità del suono al telefono aumenta rapidamente. Quando il telaio è orientato per la massima ricezione, la variazione di intensità è invece molto piccola, e difficile a percepirsi. La determinazione della stazione trasmittente si deve quindi fare cercando la posizione di ricezione nulla; la direzione della stazione trasmittente sarà quella ad essa perpendicolare.

In realtà però, un diagramma netto come quello della fig. 338 è difficilmente ottenibile in pratica, causa varie ragioni di irregolarità, fra le quali le principali sono:

1° la differente capacità dei due capi del telaio, dovuta al fatto che uno di essi viene collegato alla griglia, ed è quindi isolato, mentre l'altro è connesso al filamento, e di conseguenza alla massa dall'apparato che è spesso anche messo a terra. Ciò fa sì che il telaio nel suo complesso si comporta come un piccolo aereo verticale, avente un estremo isolato e l'altro a terra, sul quale si produce una corrente perturbatrice, che si mantiene eguale per tutti gli orientamenti del telaio (effetto verticale);

2° lo sviluppo perimetrale dell'avvolgimento, e la conseguente capacità fra le varie spire del telaio (effetto di capacità), la quale produce un effetto perturbatore massimo precisamente nella posizione di minima ricezione, giacchè precisamente in tale posizione le spire vengono colpite dalle onde successivamente, una dopo l'altra, determinando piccole f. e. m. perturbanti agli estremi del telaio. Ciò non si verifica nei telai a focaccia, i quali però sono più sensibili di quelli a bobina all'effetto verticale di cui si è detto;

3° l'effetto del campo e. m. sulle bobine interne dell'apparato ricevitore, che, per quanto sia in genere molto debole, può assumere valori sensibili, i quali per di più dipendono direttamente dalla orientazione dell'apparato, anzichè da quella del telaio.

Si rimedia al primo inconveniente cercando di uguagliare la capacità dei due capi del telaio; al secondo riducendo al minimo il numero di spire e restringendone l'intervallo; al terzo schermando gli apparati di ricezione. Per il secondo scopo un intervallo di isolamento eguale al raggio del filo conviene per le onde lunghe; eguale al diametro del filo conviene per le onde corte; meglio però abbondare nella distanza tra le spire. Quanto all'eguagliare la capacità dei due capi, ciò si ottiene collegandoli ad un condensatore compensatore, detto di Mesny, costituito da due piatti metallici, isolati e disposti uno accanto all'altro, in uno stesso piano; un terzo piatto metallico collegato a terra, disposto di fronte ai due (fig. 338), si può spostare in modo da affacciare di più all'uno che all'altro, e dare così una capacità verso terra preponderante ad uno dei capi, per compensare in tal modo la capacità deficiente rispetto all'altro capo.

Altro sistema per ovviare all'effetto verticale è quello di impiegare come schermi dei fili metallici messi a terra, disposti orizzontalmente sopra il telaio e vicinissimi ad esso, in modo da annullare l'effetto del campo elettrico.

Preferibile a questo schermaggio sembra l'uso di una piccola antenna aperiodica (fig. 339), cioè senza condensatori, e avente una bobina accoppiata in modo variabile con una analoga bobina inserita nel circuito di griglia della valvola collegata al telaio. Variando l'accoppiamento si può ottenere una posizione di massima nettezza dello zero, il che indica che l'effetto di antenna del telaio è esattamente compensato da quello dell'antenna aperiodica.

In ogni caso, per determinare in modo preciso la direzione di una stazione, occorre sempre ricercare i due minimi, che si ottengono rovesciando di 180° il telaio dopo la prima lettura, oppure invertendone gli attacchi agli apparati. Delle

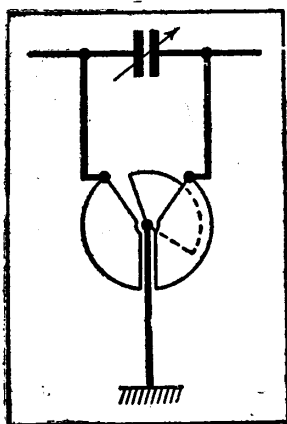



Fig. 338.

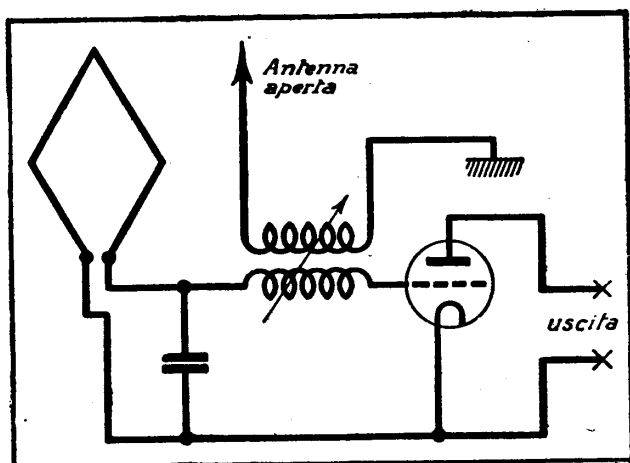



Fig. 339.

due letture si farà la media, ciò che eliminerà una buona parte degli errori dovuti alle imperfezioni del sistema e specialmente alla eccentricità tra quadrante graduato e telaio, difficili ad eliminarsi altrimenti.

Con le avvertenze sopra accennate, e con una grande accuratezza nelle operazioni, il telaio può dare la direzione di una stazione trasmittente con solo un grado di errore, purchè la distanza non sia troppo grande (150 km. al massimo), ed il terreno non sia troppo accidentato, specialmente nelle immediate vicinanze del radiogoniometro.

Nel caso che si ricevano onde persistenti, occorre evitare che l'eterodina da impiegare per ottenere i battimenti influenzi direttamente il quadro ed i circuiti di ricezione; perciò si chiuderà l'eterodina, insieme con l'alimentazione, in una scatola metallica. L'accoppiamento con gli apparecchi si farà mediante una bobina mobile, di poche spire, intercalata nella connessione fra quadro e ricevitore, e chiusa anch'essa in scatola metallica. Non è conveniente funzionare in endodina, per evitare l'effetto diretto della endodina sul telaio.

313. - RADIOGONIOMETRO. — Per determinare la direzione di una stazione per mezzo del telaio, occorre che questo sia girevole intorno al proprio asse di simmetria verticale; il telaio deve quindi essere di piccole dimensioni, e richiede di conseguenza grandi amplificazioni. Il radiogoniometro (dovuto agli italiani Bellini e Tosi) dà modo di risolvere il problema con telai fissi, che possono perciò avere anche dimensioni notevoli. Il principio del radiogoniometro è il seguente:

Si immaginino due telai ortogonali (fig. 340), rispettivamente con gli estremi collegati a due bobine disposte normali fra di loro, in modo cioè che i due flussi

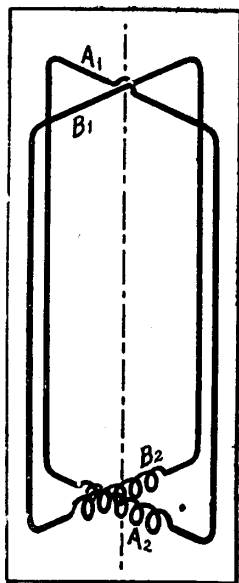



Fig. 340.

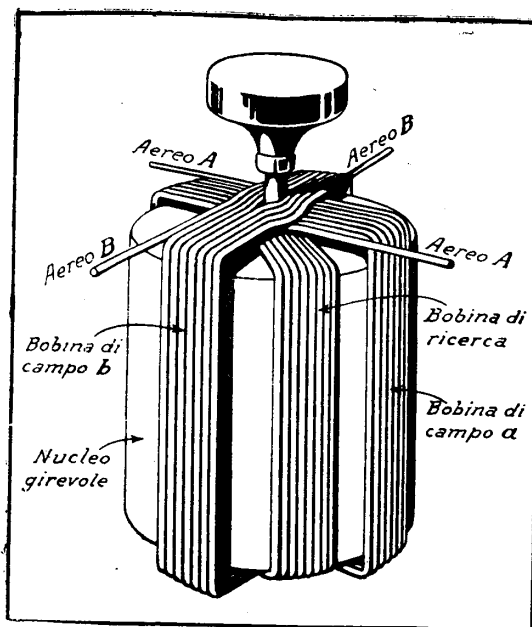



Fig. 341.

magnetici risultino perpendicolari l'uno all'altro, e paralleli ai rispettivi telai. Se in presenza o nell'interno di queste due bobine si dispone una terza bobina (figg. 341 e 342), detta esploratrice o di ricerca, girevole in modo da poter abbracciare più o meno flusso dell'una e dell'altra bobina fissa; e se si collega tale bobina esploratrice agli apparati di ricezione, si verificherà che la rotazione della esploratrice avrà sulla ricezione lo stesso effetto della rotazione di un telaio girevole; cioè la ricezione sarà massima quando la bobina esploratrice sarà nella direzione della stazione trasmittente, e zero quando sarà perpendicolare a tale direzione.

I due telai fissi sono infatti più o meno influenzati dall'onda in arrivo, secondo che essi sono disposti rispetto alla stazione trasmittente più o meno nella direzione di massima ricezione. Le correnti che si ottengono sui due telai sono

quindi in dipendenza di tale loro disposizione; ed il flusso magnetico interno, risultante dalla composizione dei due flussi magnetici dovuti alle correnti nei due telai, risentirà della preponderanza del telaio che è maggiormente influenzato, e prenderà quindi una posizione che si avvicinerà più a questo che all'altro.

La pratica e la teoria dimostrano infatti che il flusso risultante nell'interno delle bobine fisse prende, rispetto a queste, esattamente la stessa direzione del flusso dovuto alle onde in arrivo rispetto ai telai fissi; e perciò, nei riguardi del

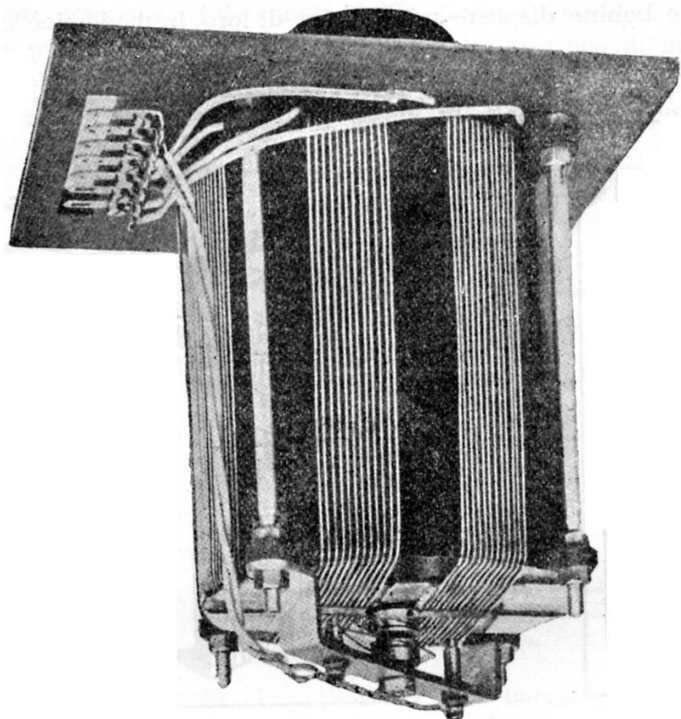



Fig. 342.

flusso risultante, la bobina esploratrice si trova nella stessa condizione di un telaio girevole rispetto alle onde in arrivo.

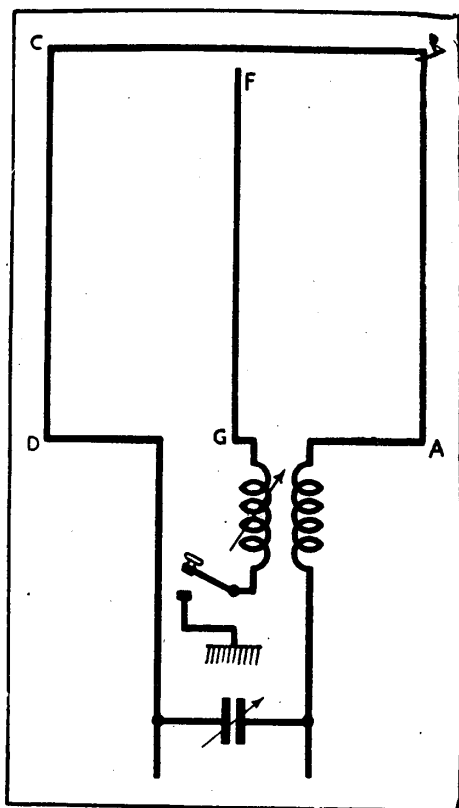
In effetti non è necessario che le bobine fisse siano parallele ai rispettivi telai; si dovrà però tener conto dell'angolo che esse fanno con i telai, per aggiungerlo o toglierlo all'angolo indicato dalla bobina esploratrice.

Per avere risultati precisi di determinazione occorre che i due telai fissi siano rigorosamente uguali in area e forma, ed esattamente normali fra di loro. Essi possono essere entrambi perfettamente accordati con l'onda da ricevere, il che dà una maggiore sensibilità, ma complica il maneggio; oppure essere entrambi aperiodici, cioè senza capacità di accordo, e perciò senza regolazione alcuna, compensandosi la minore sensibilità con una maggiore amplificazione.

Poichè nel radiogoniometro interessa avere massima corrente, allo scopo di aumentare il flusso nelle bobine fisse, così si impiegheranno preferibilmente grandi telai di piccola induttanza (ad es. una sola spira), e di conseguenza capacità di accordo piuttosto grandi. Con l'uso di apparati a valvola a diversi stadii di amplificazione si possono però impiegare anche aerei a telaio piccoli e con diverse spire.

314. - Indicazione di senso o di direzione assoluta. — Le indicazioni dei telai e del radiogoniometro individuano il piano in cui si trova la stazione trasmittente, ma non da quale parte essa si trova. Per avere l'indicazione del senso si è escogitato di aggiungere alla ricezione con telaio ABCD la ricezione con aereo ad antenna FG (fig. 343).

Fig. 343.

Per comprendere l'effetto di tale aggiunta, si supponga che un telaio sia in ricezione su due stazioni trasmittenti perfettamente uguali e sincroniche, disposte alla stessa distanza, e nella stessa direzione, ma una da una parte e l'altra dall'altra, rispetto al telaio. In tali condizioni, le correnti generate nel telaio dalle due stazioni sono bensì eguali in intensità, ma sono opposte di senso, poichè le rispettive linee di forza magnetica entrano da parti opposte nel telaio. Una antenna vicina ai due telai sarebbe invece egualmente influenzata dalle linee di forza elettrica delle due stazioni trasmittenti, e le correnti in essa generate sarebbero non solo perfettamente uguali, ma anche in fase. Le correnti sull'antenna saranno quindi concordanti con una delle correnti del telaio, ed opposte all'altra. Se quindi si combinano le due ricezioni (telaio ed antenna), e si regolano le cose in modo che le correnti nell'antenna risultino eguali in intensità a quelle del telaio, avverrà che la segnalazione proveniente da una delle stazioni trasmittenti sarà raddoppiata in intensità, mentre l'altra sarà annullata; e che, rovesciando il telaio, senza toccare i collegamenti al ricevitore si raddoppierà la seconda mentre la prima verrà annullata. Se poi la stazione emittente è una sola, in una posizione del telaio essa si sentirà molto forte, e nella posizione opposta si sentirà debole o non si sentirà. Questo dispositivo dà quindi modo di determinare la direzione assoluta della stazione trasmittente.

Il diagramma corrispondente al dispositivo ora detto è rappresentato nella fig. 344 e dicesi a cuore (curva detta cardioide), mentre quello solito dei telai (fig. 336) dicesi ad otto; il primo diagramma presenta una sola direzione di ricezione nulla, se le regolazioni sono ben fatte.

Anzichè disporre di un'antenna apposita per la determinazione del senso, si possono utilizzare gli stessi telai, uniti insieme per il punto di mezzo delle bobine fisse (fig. 345), considerandoli come una semplice antenna che si collega alla terra attraverso ad una bobina di accoppiamento (detta bobina di senso). Questa bobina agisce, insieme con la esploratrice, sugli apparati di ricezione; cosicchè questi

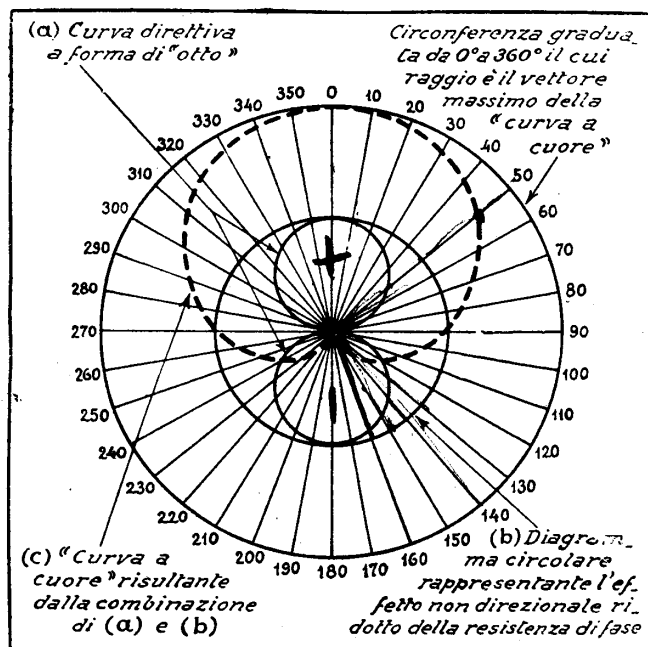



Fig. 344.

saranno influenzati sia dalla bobina esploratrice che da quella di senso. E poichè la ricezione ottenuta con telai riuniti e collegati alla terra, o con una antenna, è per solito più intensa di quella ottenuta coi telai isolati; ed occorrendo invece, per ottenere una netta sparizione dei segnali, che le ricezioni siano di eguale intensità, così si dispone in genere una resistenza in serie sull'antenna, allo scopo di ridurre l'intensità dei segnali di quest'ultima. L'antenna ausiliaria, impiegata per questo scopo, può essere utilizzata anche per la compensazione dell'effetto verticale accennato al nr. 312, durante la determinazione della posizione dello zero, per renderla più netta ed esatta.

Lo schema dei circuiti dei telai e del radiogoniometro propriamente detto è rappresentato nella fig. 346, che si riferisce al tipo Marconi-Bellini-Tosi in

uso nelle principali stazioni r. g. terrestri ed in quelle di bordo. Dalla figura si rileva che l'apparecchio può funzionare in tre posizioni :

1° *ascolto* o *attenzione*, in cui la ricezione è bensì influenzata dalla bobina esploratrice, ma anche da quella di senso, che dà una ricezione preponderante, utile per la ricerca e l'ascolto ;

2° *radiogoniometro*, in cui entrano in giuoco solo i due telai, e la ricezione è dovuta soltanto alla bobina esploratrice ;

3° *senso*, in cui la ricezione a mezzo dell'antenna viene ridotta di intensità mediante la resistenza, in modo da renderla eguale a quella della bobina esploratrice, onde ottenere un perfetto diagramma a cuore.

Fig. 345.

La posizione di ascolto è quella in cui si resta in attesa di radiogoniometrare ; si passa quindi alla direzione (radiogoniometro), e da ultimo al senso.

Come risulta dalla figura 344, il punto di minima ricezione nel diagramma a cuore si trova nella direzione perpendicolare a quella dei minimi nel diagramma ad otto ; e cioè si trova nel piano della stazione trasmittente.

315. - CORREZIONE DEGLI ERRORI. — Nella pratica, invece di un punto ben netto di silenzio si otterrà piuttosto una zona di silenzio, e cioè un tratto compreso fra due posizioni della bobina, lungo il quale non si sente alcun suono. Si prenderà come direzione vera quella mediana fra le due estreme. Si invertirà poi il telaio, e si otterrà un'altra zona di silenzio, di cui pure si prenderà come buono il punto mediano. Le due direzioni così ottenute non saranno esattamente opposte ; si dovrà togliere 180° alla maggiore e fare la media fra i due valori, per avere il rilevamento definitivo.

Può darsi che il radiogoniometro sia disposto in località non completamente libera di ostacoli, o, peggio, sia situato in prossimità di costruzioni metalliche (ad es. : su navi, aeroplani, autovetture, ecc.) ; allora la presenza degli ostacoli o delle masse metalliche influisce in modo complicato sui risultati del rilevamento. Occorre in tal caso compilare delle *curve di correzione*, dette anche *curve quadrantali*, mediante le quali, in corrispondenza ad ogni rilevamento del radio-

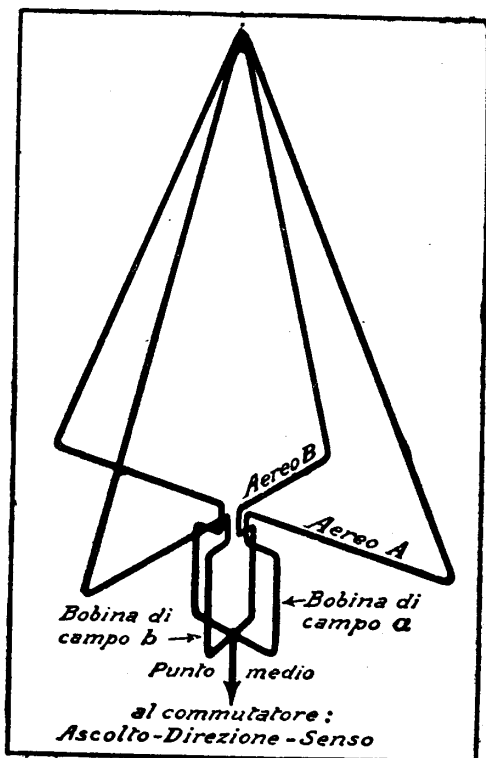
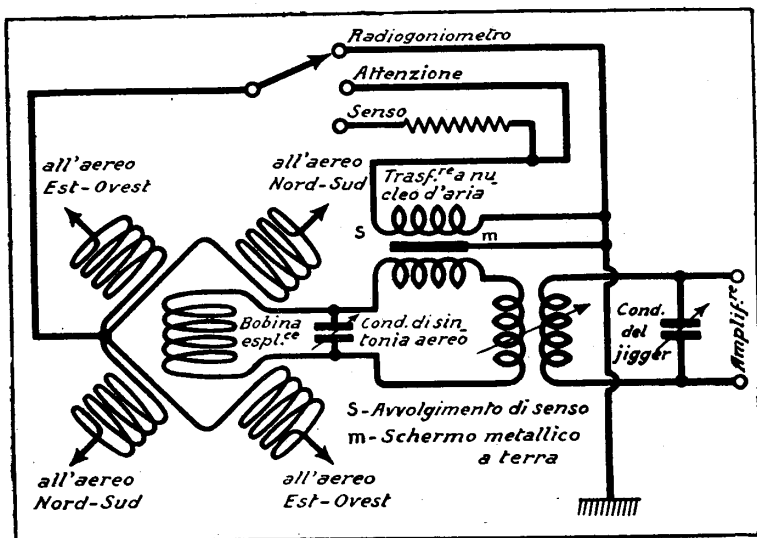



Fig. 346.

goniometro, si leggerà il rilevamento corretto dagli errori. Questi errori si determinano sperimentalmente, facendo spostare una stazione trasmittente tutto

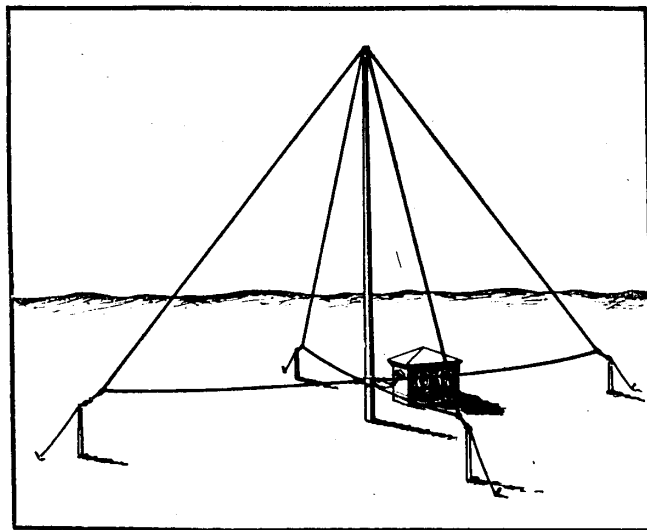



Fig. 347.

intorno al radiogoniometro, e verificando le differenze tra rilevamento radiogoniometrico e rilevamento vero.

316. - APPLICAZIONE DELLA RADIOGONIOMETRIA. — La possibilità di determinare la posizione di una stazione r. t. trasmittente viene sfruttata in guerra per stabilire l'ubicazione delle stazioni nemiche, e dedurne quella dei comandi cui sono addette.

Le applicazioni pacifiche riflettono la sicurezza della navigazione sia aerea che marittima, specie in tempo di nebbia, ed hanno per iscopo la determinazione della posizione esatta della nave o del velivolo o della rotta.

Si possono a tale scopo usare tre metodi essenzialmente diversi. Il primo consiste nell'impiegare delle stazioni fisse r. g. (fig. 347), che radiogoniometrano

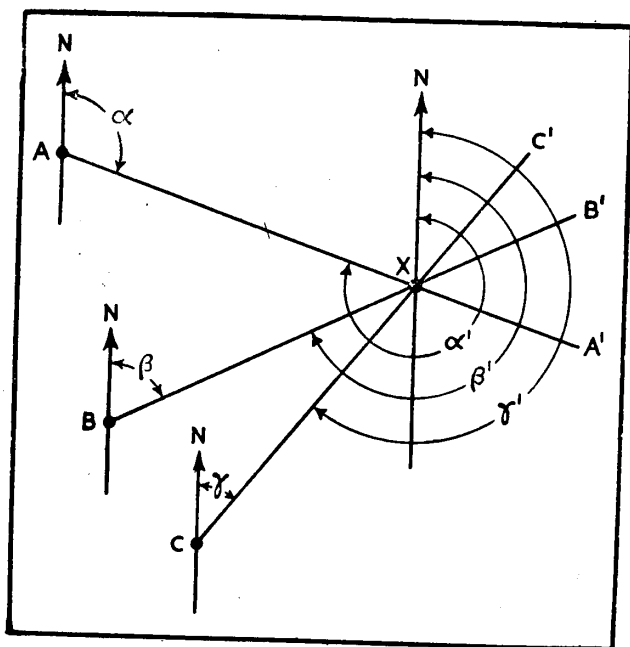



Fig. 348.

la nave od il veicolo aereo, il quale per l'occasione fa delle trasmissioni convenute; dette stazioni comunicano poi alla nave o all'aeromobile il risultato del rilievo.

Il secondo sistema consiste nello stabilire delle stazioni r. g. fisse dette radiofari, che fanno delle segnalazioni continue convenute, Le navi od i veicoli aerei rilevano da bordo la loro posizione rispetto ai radiofari.

Il terzo sistema consiste nell' impiego di stazioni trasmittenti speciali che creano dei settori di irradiazione ben determinati, entro i quali viaggia il veicolo aereo (vedi nr. 375). In tal maniera esso ha modo di correggere la rotta, con metodi molto semplici.

Nelle determinazioni con i due primi sistemi il punto, cioè la posizione della stazione radiogoniometrata, si trova per intersezione di almeno due direzioni, ma meglio di tre, di cui una per conferma. Le direzioni devono essere riferite ad una direzione fissa, che di solito è quella del meridiano locale.

Ad es., se la stazione da determinare è X (fig. 348), e si riportano su una carta gli angoli α, β, γ con cui essa è stata rilevata rispetto al meridiano magnetico da tre posti r. g. A, B, C, il punto X viene trovato sulla stessa carta per mezzo della intersezione delle rette AA', BB', CC'. La stessa operazione, nel caso che X sia la nave che rileva, ed A, B, C, i radiofari, permette ad X di determinare la propria posizione rispetto ad A, B, C, tracciando da A, B, C, che occupano posizioni conosciute, gli angoli α, β, γ, che sono rispettivamente eguali agli angoli α', β', γ' diminuiti di $180°$, essendo α' β' γ' gli angoli con cui X ha rilevato i radiofari A, B, C.

CAPITOLO XXII.

Radiotelefonia.

317. - MICROFONO. — Prima di trattare della radiotelefonia si darà un breve cenno sul microfono, l'elemento che permette di tradurre le modulazioni della voce in variazioni di intensità di una corrente elettrica.

Il microfono a carbone (1) (fig. 349) è un apparato comprendente una lamina di metallo o di carbone, detta membrana o diaframma, che chiude una piccola capsula metallica, contenente dei granuli di carbone, i quali appoggiano più o meno leggermente contro la lamina. I contatti dei granuli fra di loro e contro i reofori (capsula metallica e membrana) determinano una resistenza elettrica, che varia notevolmente secondo che il diaframma venga anche leggermente compresso o allentato contro i granuli. Parlando davanti al diaframma, le onde sonore vengono a colpirlo e producono in esso delle alternative di compressione o di allentamento, in relazione alla forza ed alla tonalità del suono. Un tono energico determina compressioni più energiche, e quindi variazioni più intense della resistenza; un suono acuto determina variazioni più rapide che un suono grave.

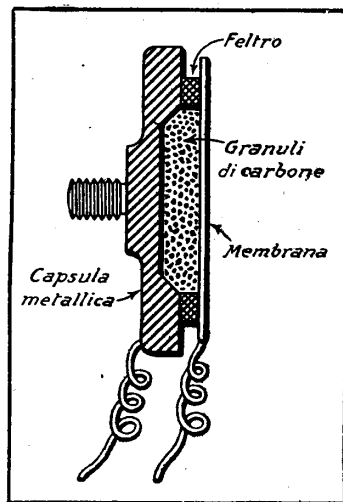



Fig. 349.

Ora, i suoni udibili hanno frequenze variabili tra 30 e 13000 circa periodi al secondo, delle quali però quelle essenziali per la voce sono limitate fra 200 e 2000 periodi/sec., mentre per la musica occorrono limiti più ampi (fra 50 e 5000 almeno). I suoni puri sono costituiti da oscillazioni di frequenza ben determinata e costante, mentre i suoni usuali della voce sono costituiti dalla sovrap-

(1) Oltre al microfono a carbone esistono altri tipi di microfono : elettromagnetico, a capacità o elettrostatico ecc., che però non sono, fino ad ora, adoprati in stazioni di tipo comune.

posizione di un gran numero di suoni semplici. Questa sovrapposizione dà luogo ad oscillazioni risultanti molto complicate, di cui una rappresentazione si può avere dalla prima linea della figura 350.

Parlando davanti ad un microfono che si trovi inserito in un circuito contenente una pila, la corrente che ne risulta dipenderà dalla resistenza del microfono stesso, e poichè questa varià seguendo gli impulsi che provengono dalle onde sonore, la corrente assumerà un andamento che riproduce esattamente la successione degli impulsi vocali: la prima linea della figura 350, riferita all'asse sot-

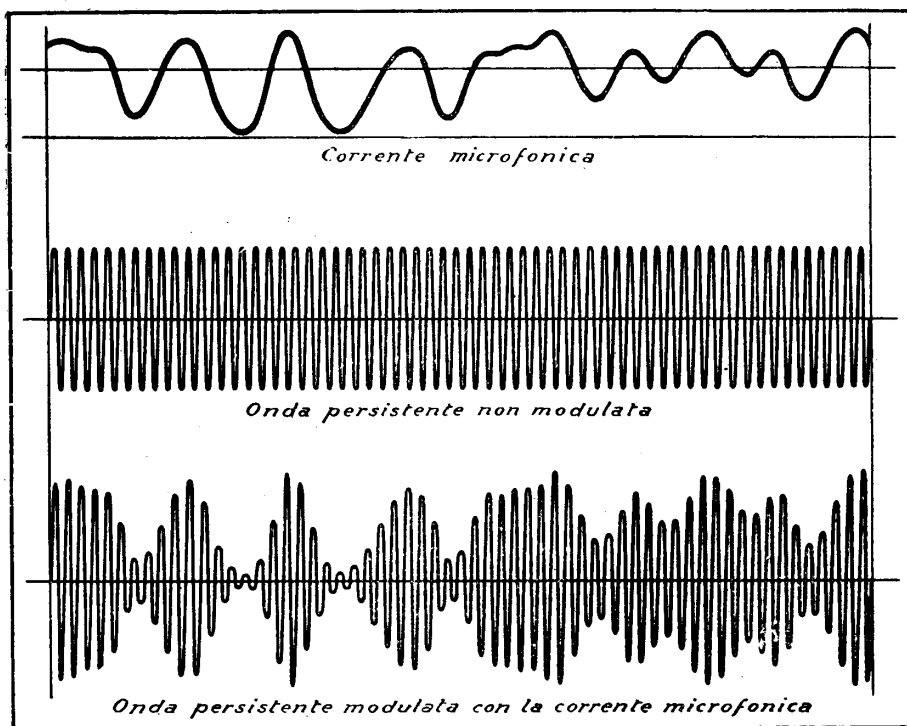



Fig. 350.

tostante come zero, rappresenta perciò anche l'andamento di una corrente microfonica, la quale è in sostanza una corrente continua, di ampiezza rapidamente e continuamente variabile. Essa è scomponibile in una parte di ampiezza media costante, cui si sovrappone una parte variabile alternata. La teoria e la pratica mostrano che quest'ultima è in tutto equivalente all'insieme di varie correnti alternate semplici, aventi ampiezze diverse, e le cui frequenze sono comprese nei limiti udibili. Quando la corrente microfonica percorre il primario di un trasformatore, la parte alternata variabile della corrente stessa induce, nel secondario, delle f. e. m. variabili, aventi le stesse frequenze componenti, ed aventi ampiezze

proporzionali alle corrispondenti ampiezze delle correnti componenti microfoniche. Il secondario è quindi percorso da correnti alternate di varie ampiezze e frequenze solo quando si parla sul microfono, e non è percorso da nessuna corrente continua.

318. - MODULAZIONE RADIOTELEFONICA E DISTORSIONE. — I principii su cui si basa la rf. sono gli stessi di quelli della rt. ad onde persistenti, quando si sostituisca la manipolazione a mezzo del tasto con un elemento che modifichi la corrente oscillante, e quindi l'onda irradiata, in relazione con le onde sonore prodotte dalla voce. Tale modificazione prende il nome di *modulazione,* e consiste in una variazione, provocata dal complesso di modulazione azionato dal microfono, dell'ampiezza dell'onda emessa, la quale si chiama anche onda portante o di trasporto, giacchè serve come veicolo della voce (fig. 350). Poichè la frequenza media dei suoni è di circa 800 periodi, se l'onda di trasporto è ad es. di 1000 metri (frequenza 300.000), ogni oscillazione della corrente microfonica comprenderà in media circa 400 oscillazioni dell'onda di trasporto. Questo numero sarà maggiore per le onde più corte, e minore per le onde più lunghe di 1000 m.

È di capitale importanza che la modulazione sia la più perfetta possibile, cioè che le variazioni dell'ampiezza dell'onda di trasporto seguano fedelmente le variazioni della corrente microfonica. Quando ciò non avviene, dicesi che si ha *distorsione della voce,* la quale in pratica può avvenire per alterazione sia dei suoni più bassi, che di quelli più acuti, per i suoni forti, che per quelli deboli, col risultato di rendere sgradevole o confusa od anche incomprensibile la parola. Varie cause di distorsione saranno esaminate nel corso della descrizione dei diversi apparati.

319. - IMPIEGO DELLA R. F. — La trasmissione r. f. rappresenta un importante complemento sia della radiotelegrafia che della telefonia col filo. Sostituisce la trasmissione rt. nei casi in cui l'operatore non ha la pratica della ricezione dei segnali Morse, o quando occorra la conversazione diretta tra i corrispondenti; ed è inoltre specialmente adatta alla diffusione di notizie, come si pratica ora a mezzo delle stazioni rf. trasmittenti di radiodiffusione, e degli apparecchi riceventi nelle case e negli uffici. Sono difetti della radiotelefonia la mancanza di segretezza e la minore portata, a parità di potenza, in confronto alla rt.

I posti soliti radiotelefonici non permettono inoltre, normalmente, la trasmissione e la ricezione simultanea, come avviene col telefono col filo (trasmissione in duplex). Occorre perciò in essi eseguire prima la trasmissione, e, compiuta questa, passare alla ricezione, commutando l'aereo e gli apparati trasmettitore e ricevitore. La trasmissione in duplex è però possibile in molti casi, e di essa si dirà più avanti (nr. 331).

320. - VARI TIPI DI MODULAZIONE. — Il complesso modulatore risulta sempre perfettamente distinto dal generatore delle o. p., e comprende sempre un microfono insieme con altri elementi. Esso viene opportunamente inserito sul complesso generatore.

I metodi più importanti di modulazione a mezzo di microfono normale, applicabili a trasmettitori a valvola, sono i seguenti:

1. Modulazione sull'aereo:
   a) in serie;
   b) in derivazione;
   c) per accoppiamento o per induzione.
2. Modulazione sul circuito di griglia.
3. Modulazione sul circuito di placca.

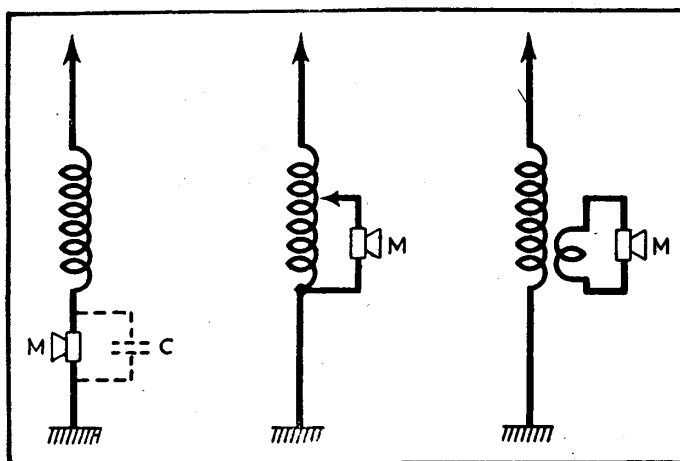



Fig. 351. Fig. 352. Fig. 353.

4. Modulazione con valvola modulatrice, o metodo ad impedenza o di Heising.
5. I varî metodi precedenti, aumentati di efficienza, con appositi amplificatori della voce.

Negli esempi che seguono si prenderà come normale il circuito generatore a valvola con reazione di griglia. Anche gli altri circuiti generatori possono però essere impiegati con opportune variazioni nei collegamenti del complesso modulatore.

321. - MODULAZIONE SULL' AEREO. — La modulazione diretta dell' energia nel circuito d' aereo può essere effettuata in un trasmettitore ad onde continue fino alla potenza massima di 2-3 watt circa, disponendo un microfono a carbone in serie sul circuito d' aereo (fig. 351), oppure in derivazione su alcune spire dell'induttanza d'aereo (fig. 352), o finalmente collegandolo ad alcune spire di filo che vengono accoppiate all' induttanza dell' aereo (fig. 353).

Con questi dispositivi si ottiene una variazione nella resistenza dell' aereo, e quindi nell' ampiezza della corrente che vi circola, in concordanza con le vibrazioni della voce che agisce sul microfono.

Con i sistemi di modulazione sull' aereo, è sempre preferibile adottare l' eccitazione indiretta di questo, poichè in tale caso anche negli istanti in cui la corrente sull' aereo viene ridotta completamente a zero, per effetto del microfono, la valvola non si diseccita.

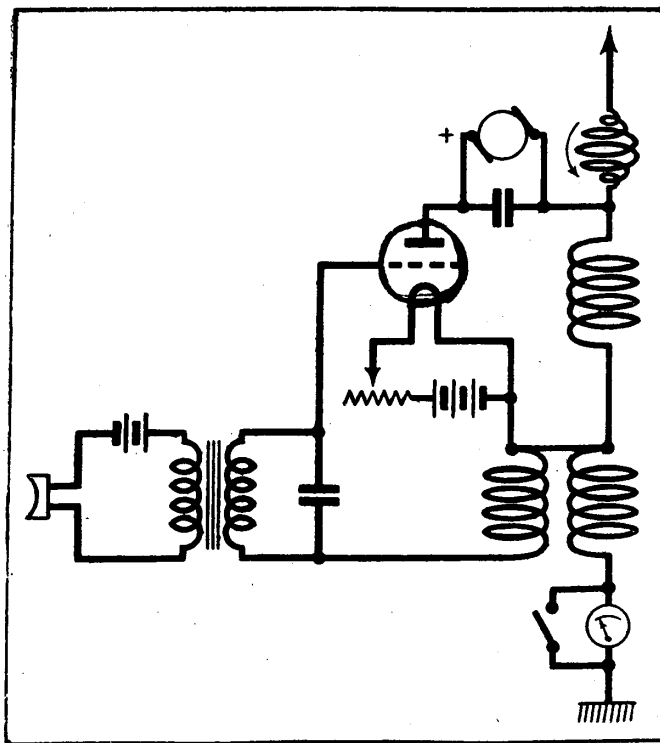



Fig. 354.

In ogni caso occorre però scegliere bene il microfono, dato che esso viene percorso da correnti di alta frequenza ed è soggetto ad impastarsi, cioè a rendersi pigro ed insensibile alla voce. I dispositivi sono semplici, poichè non richiedono nessun trasformatore telefonico, nè batteria di pile. Per evitare modificazioni nell' onda dell' aereo occorre infine che le connessioni dall' aereo al microfono siano le più corte possibili; e per ottenere i migliori risultati occorre che la reattanza della bobina d'aereo (o accoppiata) sia all' incirca eguale alla resistenza del microfono.

322. - MODULAZIONE SULLA GRIGLIA. – La modulazione sulla griglia risulta molto più efficace di quella sull' aereo, specie per potenze non troppo grandi, ed è una delle forme più usate. Il microfono non è percorso da correnti ad alta frequenza: esso è inserito sul primario di un trasformatore microfonico a nucleo di ferro, ed è alimentato con corrente continua fornita da una o due pile. La disposizione generale del complesso modulatore sul circuito di griglia è indicata dalla figura 354. Il condensatore in derivazione sul secondario del trasformatore microfonico permette il passaggio degli impulsi ad alta frequenza, proteggendo in tal modo gli avvolgimenti del trasformatore, e mettendo la valvola in condizioni di innescarsi.

Supposto il filamento acceso, chiudendo il circuito di placca si determina senz' altro l' adescamento della valvola; se non si parla davanti il microfono le oscillazioni generate ed irradiate dall' aereo sono di ampiezza costante e continua. Parlando invece davanti al microfono si ottiene nel primario la corrente microfonica comprendente le varie frequenze della voce, e quindi equivalente, come si è detto, al complesso di varie correnti alternate semplici, di differenti frequenze ed ampiezze, e tutte suscettibili di essere trasformate dal trasformatore, che in genere sarà survoltore. Agli estremi del secondario di tale trasformatore, e quindi tra griglia e filamento, si ottiene quindi una corrispondente d. d. p. variabile che comprende le varie frequenze della voce, le quali sono molto più basse di quelle radio. In tal modo il potenziale base di griglia varia, in modo relativamente lento, concordemente alle variazioni della corrente microfonica, e quindi, in corrispondenza, varia anche l' ampiezza delle oscillazioni generate dalla valvola, poichè tale ampiezza dipende dalla tensione base di griglia, essendo tanto maggiore quanto più grande è detta tensione (fino alla saturazione).

Il trasformatore microfonico deve essere studiato in relazione al circuito cui deve essere collegato ed alle valvole che si devono impiegare. I dati da determinare sono il rapporto di trasformazione ed il numero delle spire primarie. In genere non converrà dare al rapporto di trasformazione un valore eccessivamente elevato, onde evitare che il potenziale di griglia sorpassi i limiti di interdizione e di saturazione. Se ciò avvenisse si verificherebbe una distorsione notevole della voce. D' altra parte, se il rapporto di trasformazione fosse molto piccolo, la modulazione risulterebbe poco efficiente. Nelle piccole stazioni un rapporto di 20 $\div$ 30 è pressapoco adatto ai vari tipi. È inoltre necessario che il trasformatore sia egualmente efficente per tutte le frequenze componenti la voce o la musica, varianti da 200 a 2000 circa, oppure da 50 a 5000 circa per / sec., come si è detto. Ad esempio un piccolo trasformatore facile a costruirsi si può ottenere avvolgendo 200 $\div$ 300 spire di filo di rame di $^7/_{10}$, rivestito in seta, come primario, e 6000 spire di filo da $^3/_{100}$ pure rivestito in seta, come secondario, su un nucleo di lamierino di ferro silicio di 12×12 $^m/_m$ di sezione. Tale nucleo può ottenersi formando un pacco di lamierini di ferro silicio di 44×54 $^m/_m$, aventi ciascuno una finestra di 20×30 $^m/_m$. Se il pacco sarà spesso

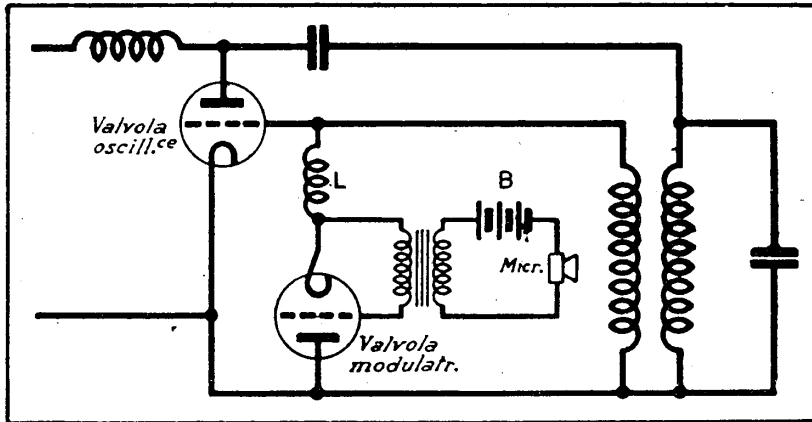



Fig. 355.

12 $^{m}/_{m}$ si otterrà in un braccio del pacchetto il nucleo di 12 × 12 occorrente per collocare i due avvolgimenti. Questi dovranno poi essere separati tra di loro e dal nucleo con tela sterlingata.

323. - MODULAZIONE CON VALVOLA MODULATRICE ROVESCIATA DI GRIGLIA (sistema Telefunken o Schaffer). — La modulazione avviene anche in questo sistema mediante la sovrapposizione della frequenza modulante a quella portante sul circuito di griglia della oscillatrice, ma tale sovrapposizione, anzichè ottenersi in serie sullo stesso circuito come nel caso precedente, avviene in parallelo, mediante la derivazione nel circuito della oscillatrice, di una valvola disposta col filamento alla griglia e con la placca al filamento della oscillatrice stessa, talvolta in parallelo inoltre con un'alta resistenza.

Sul circuito di griglia della valvola modulatrice è inserito il trasformatore microfonico (fig. 355). La induttanza L evita che l' alta frequenza sia cortocircuitata dalla derivazione. Le alternanze della frequenza di modulazione, rendendo alternati-

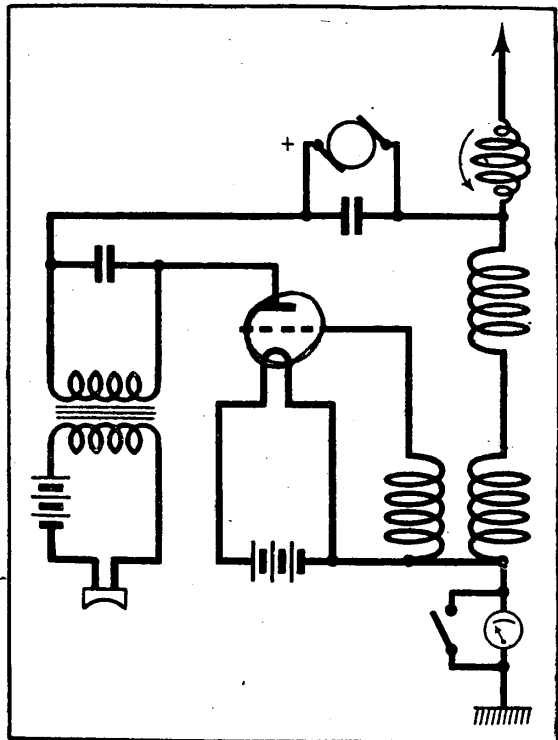



Fig. 356.

vamente positiva o negativa la griglia della valvola modulatrice, stabiliscono una derivazione più o meno conduttiva tra il filamento e la griglia della oscillatrice, e quindi una caduta di tensione, variabile con la frequenza modulante, fra questi due elettrodi. Il potenziale base della griglia dell'oscillatrice varia quindi in concordanza con la corrente microfonica.

324. - MODULAZIONE SULLA PLACCA. — Il complesso modulatore, composto di microfono con trasformatore microfonico provvisto di condensatore sul secondario, può essere inserito in un punto qualunque del circuito di placca della valvola generatrice, come mostra la figura 356; variandosi così la tensione della placca con le alternanze della frequenza modulatrice, ne risulta una variazione corrispondente di ampiezza nella corrente della frequenza portante. Il metodo però è meno efficace e meno usato della modulazione sulla griglia, perchè quest'ultima sfrutta la proprietà amplificatrice della valvola. Infatti per avere con la modulazione di placca la stessa efficenza della modulazione sulla griglia occorre che le variazioni di potenziale della placca siano tanto più intense di quelle sulla griglia, quanto più grande è il fattore di amplificazione della valvola. Ad esempio con una valvola avente fattore 7, il secondario del trasformatore microfonico inserito sulla placca dovrebbe avere sette volte più numerose le spire. Il trasformatore descritto al numero precedente dovrebbe avere 42.000 spire invece che 6000.

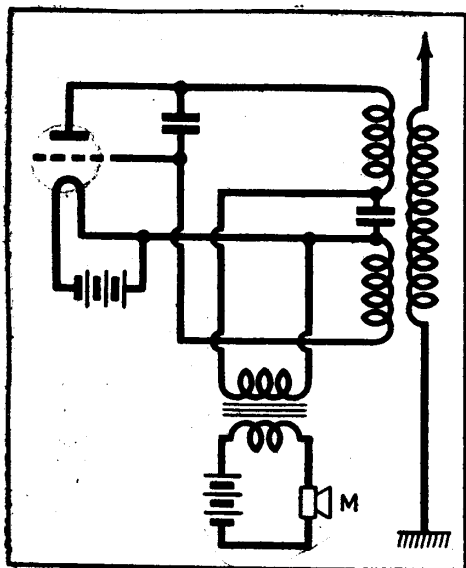



Fig. 357.

Un metodo speciale che rientra nella modulazione sulla placca è quello detto con aereo a riposo. La placca non ha sorgente ad alta tensione e questa si determina solo a mezzo del trasformatore microfonico, quando si parla davanti al microfono. Il dispositivo è indicato dalla figura 357. Questa forma di modulazione sarebbe molto conveniente dal punto di vista dell'economia di potenza e del disturbo con altre stazioni; sarebbe anche vantaggiosa per un funzionamento in duplex; ma presenta una forte distorsione della voce, dovuta al ritardo che si verifica nell'adescamento delle oscillazioni nella valvola, ogni volta che queste devono riprendersi dopo essersi annullate.

325. - MODULAZIONE AD IMPEDENZA DI PAROLA O DI HEISING. — Questa forma di modulazione si presta meglio delle altre nei generatori di qualsiasi potenza. Consiste nel disporre, in derivazione sul circuito di placca della valvola generatrice, il circuito di placca di una seconda valvola, detta modulatrice, alimentandole entrambe con una sola sorgente ad alta tensione, ed inserendo una impedenza a nucleo di ferro, detta impedenza di parola, in serie con quest'ultima secondo lo schema della figura 358.

La impedenza di parola L_a deve avere forte induttanza e piccola resistenza; deve essere fatta quindi con filo grosso e con nucleo di ferro abbondante, calcolato in modo da dare poche perdite. La reattanza (2π f L_a) di questa bobina deve essere, anche per le più basse frequenze acustiche ($100 \div 200$ periodi/sec. circa), molto maggiore della resistenza di placca della valvola oscillatrice, mentre la sua resistenza ohmica deve essere tale da non determinare una caduta apprezzabile di tensione rispetto alla f. e. m. della sorgente di energia. Per valvole generatrici di piccola potenza, aventi una resistenza di placca di circa 10.000 ohm, si possono usare impedenze di $20 \div 50$ henry.

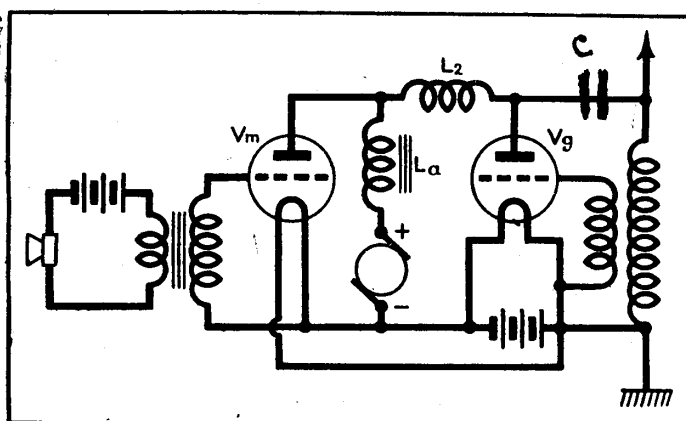
In queste condizioni se si dispone sulla griglia della modulatrice un trasformatore microfonico ed un microfono come in figura, parlando al microfono

$La = 20 \div 50$ H
$L_2 = \sim 1$ mH
$C = \sim 500$ pF

Fig. 358.

si determinano sulla griglia della modulatrice delle f. e. m. E_g, aventi le frequenze componenti della voce.

La conseguente variazione della corrente di placca, cioè la parte alternata di questa corrente, data la reattanza preponderante della impedenza di parola, passerà per la via più facile offerta dalla valvola generatrice. Rispetto a questa valvola generatrice, la parte alternata della corrente di placca avrà quindi fase pressapoco opposta a quella della placca della modulatrice. In altre parole, nella fase positiva della tensione della griglia modulatrice, quando cioè si ha in questa valvola la massima emissione, e quindi la parte alternata è *entrante* nella valvola dalla placca (come la emissione), vi sarà la minima emissione nella valvola oscillatrice, perchè in questa, la parte alternata della corrente di placca deve essere *uscente* dalla valvola per la placca, per poter essere *entrante* nella valvola modulatrice.

L'opposto si avrà nella fase negativa della E_g della modulatrice: infatti la emissione nella modulatrice sarà minima, ciò che significa che la parte alternata

è *uscente* dalla valvola modulatrice (contraria alla emissione), e quindi *entrante* nella generatrice; in quest' ultima si avrà quindi la massima emissione.

La somma delle emissioni delle due valvole, che costituisce la corrente complessiva fornita dalla sorgente attraverso alla impedenza di parola, sarà perciò pressapoco costante, al variare della E_g.

La corrente anodica di ciascuna valvola sarà cioè composta di due parti, una media, costante o quasi, fornita dalla sorgente, attraverso la impedenza di parola, ed una alternata che viene alternativamente fornita in più da una valvola ed in meno dall'altra, e viceversa. In altre parole la sorgente, attraverso la impedenza di parole, fornisce alternativamente corrente all' una e all' altra valvola. Da ciò il nome di modulazione a *corrente costante* data a questo metodo.

In realtà una piccola parte di corrente alternata passa anche per la impedenza di parola, e questa parte, attraverso alla forte reattanza della impedenza stessa, produce una f. e. m. E_p, che risulta così applicata alle placche delle due valvole, e che ha la frequenza acustica della E_g, e la fase opposta a questa. Per effetto di quest'ultima proprietà, che risulta dalla teoria del dispositivo, quando la L_a è ben calcolata, la valvola modulatrice obbedisce alle due tensioni E_g ed E_p di cui però è preponderante la E_g; la oscillatrice obbedisce solo alla E_p, opposta alla E_g; esse danno quindi due emissioni opposte di fase, massima in una, quando è minima nell' altra. Riferendoci alla teoria della valvola generatrice (capitolo IX) si può dire che nella valvola modulatrice, che funziona da generatrice a frequenza acustica, la corrente anodica è in fase con la f. e. m. di griglia, ed in opposizione con la f. e. m. di placca; mentre nella oscillatrice, che funziona da consumatrice, la corrente di placca è in fase con la tensione di placca.

La valvola oscillatrice sarà dunque, con la frequenza acustica della modulazione, soggetta ad alternative di massima e minima tensione di placca, ed a corrispondenti alternative di massima e minima corrente anodica. Queste alternative sono però enormemente lente in confronto alle alternative di tensione, prodotte nella valvola oscillatrice sotto l'eccitazione dei circuiti generatori di frequenza radio ad essa collegati. Le correnti oscillanti avranno quindi una ampiezza lentamente variabile, che segue le lente variazioni della tensione di placca: le correnti saranno quindi modificate di ampiezza, cioè *modulate*, con la frequenza delle correnti microfoniche prodotte sulla griglia della modulatrice.

Nello schema della fig. 358 è indicata la induttanza L_2 a nucleo d'aria disposta fra le due placche, modulatrice ed oscillatrice. Lo scopo di questa bobina è semplicemente quello di arrestare la parte alternata, di frequenza radio, della corrente di placca della oscillatrice, ad evitare che essa modifichi sensibilmente la corrente della modulatrice, o che sfugga attraverso la resistenza relativamente bassa di placca della stessa. Lo scopo opposto è affidato ad un condensatore che spesso si dispone tra la placca della oscillatrice e i circuiti generatori. Esso deve fornire una via facile alla parte alternata della corrente oscillante di frequenza

radio, e nel contempo bloccare la corrente continua proveniente dalla modulatrice, e opporre una forte reattanza alle correnti di frequenza acustica.

In tal modo la corrente di radiofrequenza della placca della oscillatrice si dividerà in due rami: parte continua per la impedenza L_2, e parte alternata per la capacità.

La valvola oscillatrice e quella modulatrice sono dunque soggette alle stesse tensioni di placca ed a correnti di placca pressochè uguali; esse debbono perciò essere della stessa potenza e dello stesso tipo. Tuttavia, per ottenere una più perfetta modulazione, la valvola modulatrice deve lavorare senza distorsione,

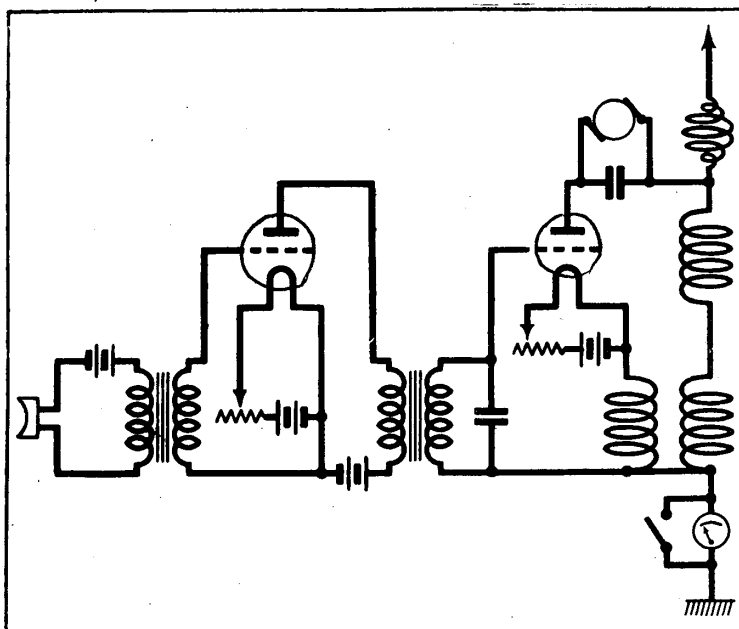



Fig. 359.

cioè nella regione rettilinea della caratteristica, il che non è necessario per la valvola oscillatrice, come si è visto al nr. 251, facendo il confronto tra amplificatori di radio e di audiofrequenza. La modulatrice deve quindi lavorare con minore tensione negativa di griglia, e quindi con corrente di base (parte continua) maggiore di quella della oscillatrice. Di conseguenza essa lavora con minore rendimento ed è soggetta ad un maggiore riscaldamento. La valvola modulatrice è quindi più tormentata di quella generatrice, ed a rigore dovrebbe perciò essere di tipo più potente.

326. - MODULAZIONE E PREMODULAZIONE NEI CIRCUITI DI POTENZA. — Si è visto al paragrafo precedente che nella modulazione a valvola modulatrice (che è tra le più usate) la potenza della valvola modulatrice deve essere almeno uguale a quella della oscillatrice.

Per raggiungere la potenza necessaria per modulare le stazioni più potenti è quindi necessario l'uso di una o più amplificazioni, dette anche premodulazioni, che sono a bassa frequenza e di potenza. Generalmente anche la corrente di alta frequenza o portante viene in tali casi ricavata mediante oscillatore pilota e successive amplificazioni di potenza, cosicchè il complesso comprende vari stadi di amplificatori, ad a. f. da una parte, e a b. f. dall'altra (1), che portano poi ad un complesso di modulazione, dal quale esce la corrente a. f. modulata, che a sua volta può essere ancora amplificata prima di andare sull'aereo.

Le valvole amplificatrici della b. f. assumono per solito la denominazione di valvole premodulatrici. Le figure 359 e 360 danno due esempi di premodulazione applicata

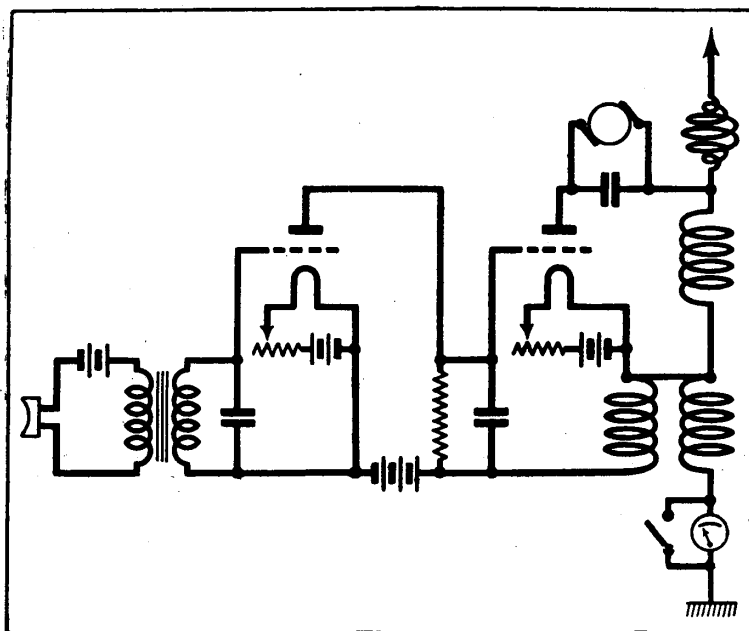



Fig. 360.

però a generatori di oscillazioni ad eccitazione diretta dell'aereo, oggidì poco consigliabile. La fig. 361 dà uno schema di complesso radiofonico moderno (modulazione a corrente costante, con premodulatrice e con generatrice a circuito pilota e amplificatrice neutralizzata, accoppiata induttivamente all'aereo (2, 3). (C_1 e C_2 condensatori di passaggio per a. f.; L_1 impedenza di parola; L_2 e L_3 impedenze ad aria per a. f.).

327. - SPETTRO RADIOFONICO. — Si è detto che la modulazione non altera la frequenza dell'onda portante, ma solo la sua ampiezza. Pur stando così le cose, il fenomeno può essere analizzato in altro modo, che porta a concludere, come si è visto parlando dei battimenti (nr. 280), che un'onda modulata con una frequenza semplice più bassa, è in

(1) Vedere nr. 240 (Amplificatori di potenza).

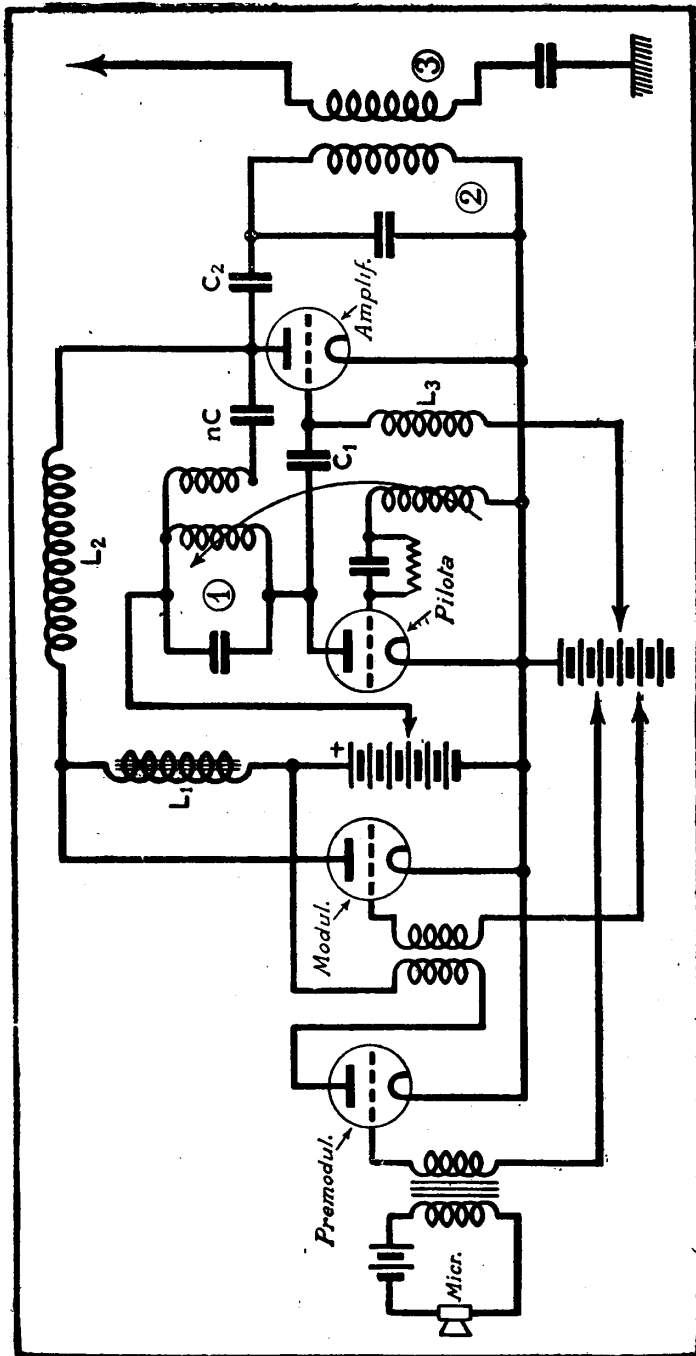



Fig. 361.

tutto equivalente al complesso *di tre onde persistenti,* e cioè: 1° un'onda avente la frequenza dell'onda portante; 2° un'onda avente la frequenza dell'onda portante *più* quella

della modulante; 3° un'onda avente la frequenza dell'onda portante *meno* quella della modulante. Ad es.: una emissione di 680.000 per./sec. modulata con la frequenza 2000 per./sec. equivale in tutto al complesso di tre emissioni persistenti (non modulate), una su 680.000, una su 682.000 ed una su 678.000 per./sec.

Ora le frequenze contenute nella voce e nella musica essendo sempre molte, il complesso di un'onda modulata con la voce o con la musica, che dicesi anche lo spettro radiofonico, equivale al complesso di tante emissioni persistenti distinte, aventi altrettante frequenze, ma tutte comprese tra la frequenza portante più la massima modulante, e la frequenza portante meno la massima modulante. Nel caso della portante di 680.000 per./sec. si può dire che lo spettro radiofonico comprende tutte le frequenze tra 682.000 e 678.000 se si tratta di parola, e tra 685.000 e 675.000 se di musica. Le onde laterali,

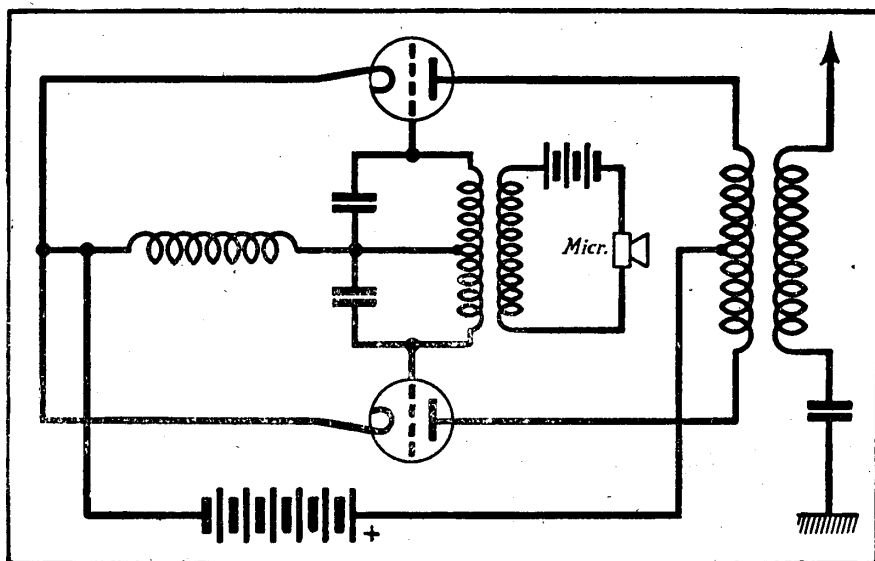



Fig. 362.

cioè quelle dovute alla modulazione, hanno sempre una ampiezza molto minore dell'onda portante, e la loro ampiezza dipende dalla profondità della modulazione, che può al massimo raggiungere il 100 %, e ciò quando la massima ampiezza dell'onda modulata è doppia dell'ampiezza dell'onda non modulata. Nel caso della modulazione al 100 % l'ampiezza delle due onde laterali è per ciascuna la metà dell'onda portante. In pratica la modulazione è sempre minore del 100 %, e quindi le onde laterali sono pure molto minori della metà della portante.

La considerazione dello spettro di frequenze ha molta importanza nello studio della radiofonia, perchè spiega ad es. la possibilità dei disturbi tra le onde laterali di due emissioni aventi frequenze tra loro poco diverse, e perchè spiega ad es. anche come la radiofonia richieda maggior potenza, in trasmissione, della radiotelegrafia, dato che essa deve mantenere molte onde contemporaneamente; spiega inoltre perchè i ricevitori rf. non debbono essere troppo selettivi, per non ridurre troppo alla ricezione l'ampiezza delle onde laterali.

328. - MODULAZIONE SENZA ONDA PORTANTE. — Con uno schema come da fig. 362, quando il microfono è a riposo, il generatore di radio frequenza, che a mezzo di opportuna bobina (non segnata nella figura) dovrebbe accoppiarsi alla bobina disposta tra i filamenti e le griglie delle due valvole, agendo ugualmente e contemporaneamente sulle griglie delle due valvole amplificatrici determina delle correnti di placca che, se il

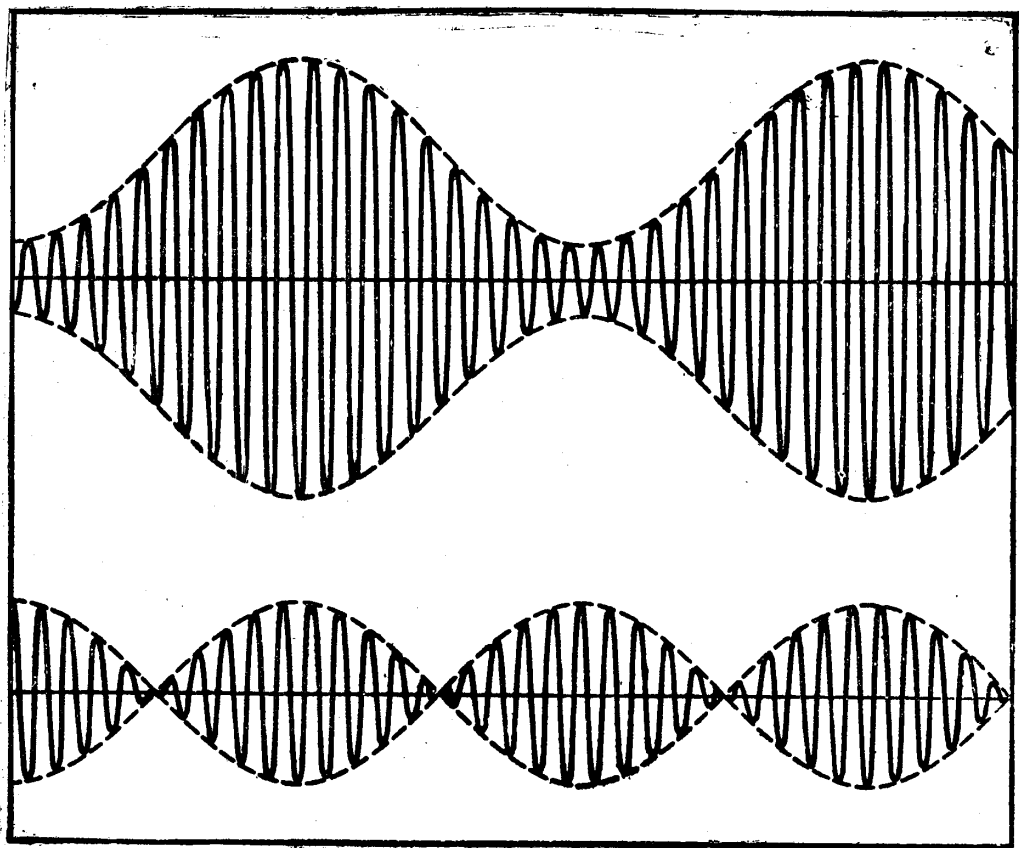



Fig. 363.

complesso è bene equilibrato, sono eguali di ampiezza e opposte di fase, e quindi si elidono mutuamente; nessuna irradiazione si ha sull'aereo.

Se però si parla al microfono, il trasformatore microfonico (1) rende una delle griglie positiva e l'altra negativa; le due correnti di placca non sono più uguali, e la corrente di radio frequenza viene trasmessa all'aereo come differenza degli effetti delle due valvole. Essa però non è modulata come nel caso ordinario, perchè la sua ampiezza passa per zero ad ogni zero della tensione microfonica, e raggiunge il massimo di ampiezza sia nei mas-

(1) Il trasformatore tra il circuito microfonico e le griglie è a nucleo di ferro (non segnato nella figura).

simi che nei minimi della tensione microfonica, dato che in entrambi i casi vi è sempre una delle griglie positiva, e l'altra negativa.

Questo metodo equivale alla soppressione dell'onda portante della modulazione ordinaria. Ciò è più economico e più segreto, ma più complicato. Per la ricezione è necessario introdurre negli apparati riceventi, prima della rivelazione, tale onda portante, mediante una eterodina che funziona esattamente su tale onda. Essa prende il nome di *omodina*. Senza la introduzione di tale onda portante, la rettificazione darebbe una corrente di audiofrequenza di frequenza doppia di quella normale, come risulta chiaramente dalla figura 363, nella quale la prima linea rappresenta una corrente di radiofrequenza modulata nel modo ordinario, e la seconda la stessa corrente di radiofrequenza modulata con la stessa corrente di a. f., ma senza l'onda portante. La figura mostra bene l'economia di energia oscillante nell'aereo, che si ha col secondo metodo.

329. - RICEZIONE R. F. — Può essere eseguita con qualsiasi apparecchio di ricezione per onde smorzate, a cristallino od a valvola, con o senza amplificazione. A questo riguardo è opportuno osservare che, per evitare deformazioni nel timbro nella voce, non è consigliabile usare troppe amplificazioni a bassa frequenza. D'altra parte, quando i segnali ricevuti sono deboli, diventa necessario ricorrere alle amplificazioni ad a. f., le quali introducono facilmente disturbi intensi di vario genere. In definitiva, le eccessive amplificazioni, sia ad alta che a bassa frequenza, sono causa di inconvenienti, per eliminare i quali è per ora necessario diminuire più che possibile le amplificazioni, ed aumentare di conseguenza la forza dei segnali trasmessi, rinunciando a ricevere quelli troppo deboli.

Per una corretta ricezione r. t. è necessario che le valvole non entrino in generazione, perchè ne risulterebbero battimenti di frequenza udibile, che deformerebbero la voce; e per lo stesso motivo non si può usare l'eterodina. Anche l'amplificazione a reazione, pur essendo un metodo molto sensibile ed economico, produce sempre una certa distorsione, per la eccessiva selettività che essa può importare. Ciò si può correggere evitando di spingere troppo la reazione. Gli altri ricevitori pure indicati per ricezione radiotelefonica, ma meno economici, sono le supereterodine, le neutrodine ed i ricevitori a valvole schermate, sempre quando sia evitata una eccessiva selettività, quale si può facilmente raggiungere con questi apparati.

330. - NATURA E SCOPO DELLA MODULAZIONE. — Le correnti microfoniche udibili sono costituite da un insieme piú o meno numeroso di correnti alternate, di cui la frequenza si può ritenere praticamente compresa tra 200 e 2000 periodi al secondo quando si tratti di parola, e tra 50 e 5000 almeno per la musica. Una tale bassa frequenza non determina proprietà radiative sensibili, ed un aereo che fosse percorso da simili correnti non potrebbe dare portate r. t. che molto piccole. Le correnti microfoniche possono infatti essere trasmesse senza filo, per effetto di induzione e. m., attraverso piccole distanze, e su ciò si basa la intercettazione telefonica impiegata in guerra; ma con questo mezzo non sarebbe possibile comunicare che a qualche chilometro, e con difficoltà. Per ottenere delle portate

grandi si deve ricorrere alle radiofrequenze. La modulazione risolve il problema di utilizzare queste radio frequenze come mezzo di trasporto delle frequenze microfoniche udibili, nel modo seguente:

Se si sommassero semplicemente le frequenze udibili a quelle radio, ottenendo la coesistenza delle due frequenze sull'aereo, le prime non sarebbero irradiate ed alla stazione ricevente potrebbe giungere solo l'alta frequenza non modulata. Dovendosi dunque, per aver portate sensibili, usare solo correnti di alta frequenza, le correnti udibili vengono impiegate per variarne l'ampiezza, di modo che la corrente risultante, pur mantenendosi di frequenza radio, avrà un'ampiezza che varia con audiofrequenza; in ciò consiste la modulazione. L'audiofrequenza non è dunque sommata alla radiofrequenza, ma sovrapposta ad essa, perchè ne altera l'ampiezza, pur lasciandone intatta la frequenza (radio).

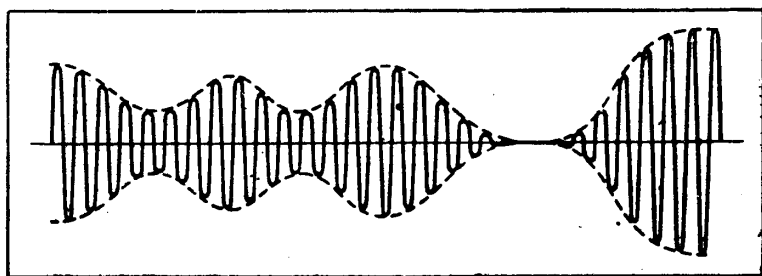



Fig. 364.

Trattando della rettificazione (nr. 278) si è visto che l'effetto di questa, applicata ad una corrente di radiofrequenza di cui l'ampiezza varî con audiofrequenza, è quello di separare la audio dalla radiofrequenza. La rettificazione è dunque l'operazione inversa della modulazione. Per essa, una corrente modulata viene ridotta nella somma di due correnti, una avente la frequenza portante, l'altra avente la frequenza modulatrice; le due si possono così facilmente separare per ricavarne la parte udibile, che possa azionare il telefono. Infatti, è bensì vero che l' onda di radiofrequenza modulata con audiofrequenza è scomponibile in tre frequenze componenti elementari; ma tutte e tre, cioè la portante e le due laterali, sono di radiofrequenza (nr. 327) e quindi non udibili. Per liberare la frequenza udibile è quindi assolutamente necessarìa la rettificazione.

La modulazione invece, dalla somma di due correnti, una di audio e una di radiofrequenza, quale si ha, ad es., nella griglia di una valvola oscillatrice, con modulazione sulla griglia, ricava una corrente di radiofrequenza ma di ampiezza variabile con audiofrequenza. Le due operazioni sono indispensabili per ottenere il trasporto per radio delle oscillazioni udibili; e cioè: la modulazione, per permettere la trasmissione a distanza delle correnti microfoniche; la rettificazione, per permettere di ricuperare alla ricezione le frequenze microfoniche trasportate.

Le figure 364 e 365 mostrano la differenza che esiste fra un'onda *modulata* (fig. 364) (combinazione di audio e radiofrequenza) ed un'onda *rettificata* (fig. 365) (somma di audio e radiofrequenza), la prima adatta alla trasmissione, la seconda pronta per la ricezione.

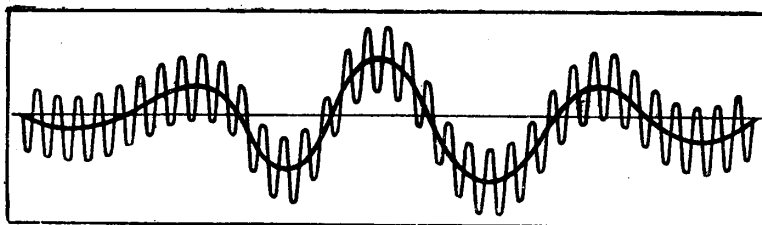



Fig. 365.

L'onda modulata si può sempre considerare come equivalente alla somma di due (o tre) onde di frequenze tra loro *pochissimo differenti,* cioè come dovuta a battimenti di due o più onde tutte di radiofrequenza; l'onda rettificata è invece equivalente alla somma di due onde di frequenze tra loro *moltissimo differenti,* una di radiofrequenza ed una di audiofrequenza.

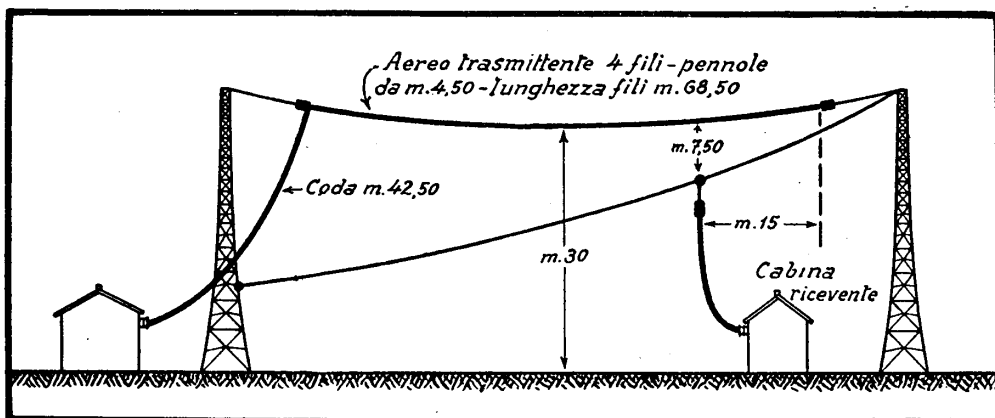



Fig. 366.

Un caso particolare di modulazione è quello senz'onda portante, di cui si è detto al nr. 318; esso richiede alla ricezione l'aggiunta di una corrente avente la frequenza portante, prima della rettificazione. L'essenza del fenomeno rimane però la stessa.

331. - Radiotelefonia in duplex. — Molti sono i metodi escogitati per ottenere di poter trasmettere e ricevere *contemporaneamente*, sullo stesso aereo o su due aerei vicini, essendo questo il solo mezzo per rendere veramente pratica la radiotelefonia come collega-

mento. La difficoltà che si incontra è quella di evitare che la grande energia impiegata in trasmissione disturbi la ricezione locale, dato che questa deve essere sensibile alla energia enormemente minore, proveniente dalla stazione corrispondente. Attualmente è relativamente facile trasmettere e ricevere contemporaneamente su due diverse onde, mediante l' uso di trappole e filtri o altri mezzi, che sull'aereo di ricezione arrestino o attenuino sufficientemente la corrente dovuta alla trasmissione locale. Le fig. 366 e 367 danno un esempio di una simile organizzazione. Sintonizzando il circuito L C della trappola sull'onda trasmittente locale, questa, già ridotta dalla resistenza R, non dà luogo ad alcuna d. d. p. alla griglia, perchè il circuito sintonizzato presenta una impedenza nulla per quell'onda, mentre l' impedenza (e quindi la tensione ai suoi estremi) non è nulla per l'onda diversa che si vuol ricevere. Questa quindi è ricevuta, e l'altra onda eliminata. Naturalmente, quanto più diverse sono le onde, e quanto più piccola è la potenza della trasmissione, e tanto più facile sarà l'eliminazione del disturbo dovuto alla trasmissione locale.

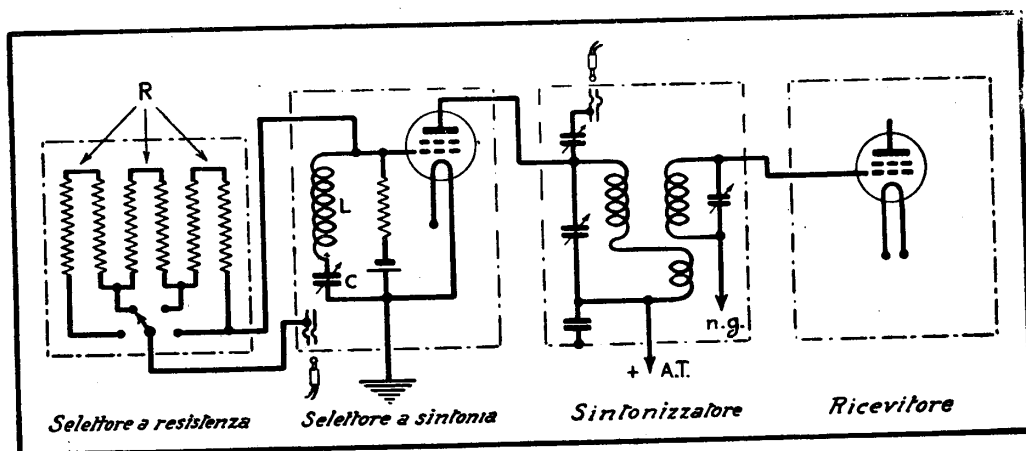



Fig. 367.

Un metodo ingegnoso per impiegare lo stesso aereo è quello ideato dall'ing. Boselli, che adopera un quadro come aereo, usandolo come antenna in trasmissione e come telaio in ricezione. I due lati verticali del quadro sono quindi percorsi da correnti concordanti durante la trasmissione, e opposte durante la ricezione. Regolando il senso degli avvolgimenti e della bobina di accoppiamento con la ricezione, il ricevitore sarà sensibile alla corrente di ricezione e non a quella di trasmissione, purchè le due onde impiegate siano abbastanza diverse.

Non risulta siasi finora ottenuto il vero duplex (cioè comunicazione contemporanea nei due sensi), impiegando la stessa onda nei due sensi. Si può però ottenere egualmente la conversazione mediante il cosidetto semiduplex o pseudoduplex, consistente nella commutazione rapida dalla trasmissione alla ricezione, ottenuta con dispositivi azionati dalla stessa voce di chi parla (radiotelefonia transatlantica) oppure da un bottone, o analogo congegno, contenuto nella impugnatura del microfono (premere per parlare, lasciare per ascoltare).

Capitolo XXIII.

Stabilizzazione della frequenza delle oscillazioni emesse.

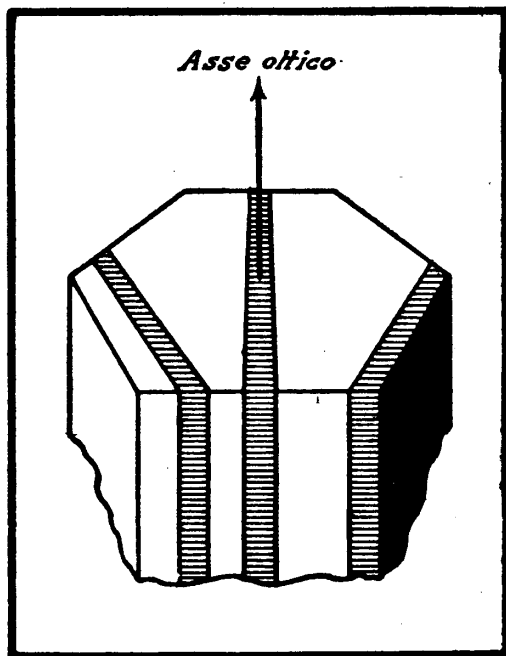
332. - I canali R. T. — Lo sviluppo preso dalle comunicazioni radio in questi ultimi anni ha imposto il problema dell'aumento dei *canali radiotelegrafici,* cioè delle onde utilizzabili senza reciproco disturbo. Ora tale problema è intimamente legato a quello della stabilità delle frequenze emesse, essendo evidente che se si stabilisce un intervallo ad esempio di 3000 periodi tra le onde utilizzabili, cioè se si fissa in 3000 periodi la larghezza dei *canali,* è necessario che le massime variazioni nella frequenza delle onde siano inferiori ad es. a 1000 periodi e possibilmente meno; in caso diverso potrà avvenire che in qualche momento le onde di due canali contigui si confondano tra loro, disturbandosi in modo irrimediabile. Naturalmente la larghezza dei canali deve variare secondo la lunghezza d'onda e secondo il tipo delle comunicazioni: così, mentre per le onde molto lunghe impiegate in radiotelegrafia si prevede la possibilità di canali larghi appena 200 ÷ 500 periodi al secondo, per le onde più corte la larghezza deve essere molto maggiore, fino a 10 ÷ 20 kc/sec. Si deve infatti considerare che l' intervallo di 1 kc/sec. su una onda di 20 kc/sec. (cioè di 15000 metri) rappresenta il 5 %, mentre su una onda di 20000 kc/sec. (cioè di 15 metri) rappresenta il 5 per centomila. Mantenere stabile entro un kilociclo la frequenza di un'onda di 15000 è quindi cosa molto facile, mentre è difficilissima per un'onda di 15 metri. Per le comunicazioni radiotelegrafiche i canali devono essere quindi di almeno 4 ÷ 5 kc/sec. e per quelle radiofoniche ancora più ampi (9 ÷ 10 kc/sec), a causa dello spettro di frequenza che accompagna le emissioni radiofoniche della parola e della musica.

L' impiego sempre crescente delle onde corte, e la necessità di aumentare al massimo il numero dei canali utilizzabili, ha consigliato lo studio di mezzi che possano servire per mantenere costanti, con grandissima precisione, le frequenze emesse. Questi mezzi sono essenzialmente due. Il primo è di montaggio, il quale dev'essere molto accurato, con l' impiego di oscillatori piloti di piccola potenza e largamente calcolati, alimentati in tutti i circuiti con accumulatori di capacità esuberante, nonchè di unità isolatrici e amplificatrici neutralizzate, per separare il più possibile l'oscillatore pilota dal circuito irradiante, in modo che questo non abbia nessuna influenza sulla lunghezza dell'onda da emettere. Questo

metodo è impiegato nelle stazioni Marconi a fascio. Il secondo metodo, più semplice e più adatto per le piccole stazioni, consiste nell' impiego del quarzo piezoelettrico.

333. - PROPRIETÀ PIEZOELETTRICA DEL QUARZO. — I cristalli di quarzo. come altri cristalli naturali, godono di proprietà piroelettriche e piezoelettriche (1), cioè quando sono scaldati e raffreddati, oppure quando sono stirati o compressi, secondo certe direzioni, manifestano uno stato elettrico particolare nelle parti tormentate. Tra i vari cristalli (sale di Rochelle, tormalina, boracite ecc.) che manifestano queste proprietà, i più adatti all' impiego pratico sono quelli di quarzo.

Fig. 368.

In un cristallo naturale di quarzo limpido e ben formato si distinguono facilmente una parte prismatica centrale ed una parte piramidale terminale. Gli spigoli paralleli della parte prismatica danno la direzione del cosidetto *asse ottico* del cristallo, mentre le perpendicolari a due faccie laterali opposte danno la direzione degli *assi elettrici*. Poichè i prismi sono esagoni, così si hanno sempre tre assi elettrici. Per meglio utilizzare le proprietà piezoelettriche del quarzo, si sogliono ricavare delle lastrine a facce parallele, mediante tagli opportuni nei cristalli grezzi. Si è verificato che le proprietà piezoelettriche si manifestano specialmente se le facce opposte parallele delle lastrine sono ricavate parallele all'asse ottico e a due facce laterali opposte dei prismi naturali, oppure se sono parallele all' asse ottico e perpendicolari a due facce laterali opposte dei prismi naturali.

I tagli sono dunque da farsi secondo la figura 368. Dopo tagliate, le lastrine vengono spianate con molta accuratezza, in modo che le superfici opposte siano più che possibile esattamente piane e parallele tra loro. Ottenute le lastrine, esse si impiegano per stabilizzare le frequenze R. T.

La proprietà piezoelettrica delle laminette consiste nel fatto che, se se ne comprimono le due facce opposte, si manifestano su di esse due cariche opposte di elettricità, proporzionali alla pressione esercitata. Se invece di comprimere le due facce si esercita una trazione su di esse, le due cariche si manifestano egualmente, ma cambiano di segno. Il fenomeno è poi riversibile e cioè, se si applicano delle cariche elettriche di nome contrario sulle due faccie opposte, la laminetta subisce una contrazione oppure una dilatazione.

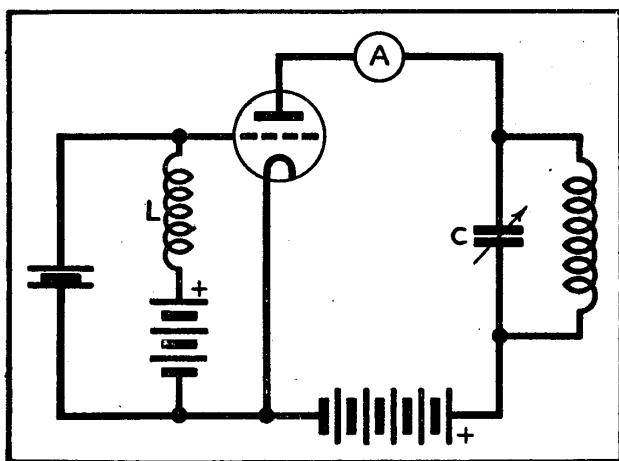
(1) La scoperta è dovuta al fisico francese CURIE, lo scopritore del radium (1880).

Se ora si immagina di applicare una d. d. p. alternativa, e quindi delle cariche alternativamente di senso opposto, su due elettrodi metallici che appoggino leggermente sulla lamina di quarzo, questa subirà una serie di compressioni e di dilatazioni, estremamente piccole, che si succedono con lo stesso periodo della d. d. p. applicata.

La laminetta è così soggetta ad una vibrazione *forzata*. Ora qualunque corpo che subisca una deformazione istantanea tende a riprendere la posizione primitiva mediante una serie di oscillazioni elastiche libere, che si compiono con una frequenza propria dipendente dalle dimensioni e dalla natura del corpo deformato. Ciò avviene nei rebbi del diapason e analogamente avviene nelle lastrine di quarzo. Infatti si verifica che ogni lastrina ha almeno un periodo proprio od una frequenza di vibrazione propria che dipende solo dallo spessore della lastrina, e che è tanto più alta quanto più sottile è la laminetta.

La costanza nella frequenza della vibrazione propria di una lamina di quarzo è notevole. Se la temperatura viene mantenuta invariata, e la pressione degli elettrodi non cambia, le variazioni nella frequenza propria sono quasi inapprezzabili. Con il modificarsi della temperatura o della pressione degli elettrodi si possono verificare delle variazioni nel periodo proprio di vibrazione, dell' ordine di qualche centomillesimo, ed al più, fino ad uno o due decimillesimi dell'onda emessa.

Fig. 369.

La esistenza di una frequenza di vibrazione propria dà la possibilità di ottenere un fenomeno di risonanza tra la frequenza della d. d. p. applicata e quella propria di vibrazione della lastrina. Se cioè si applica ad una lastrina una d. d. p. alternata la cui frequenza sia uguale a quella propria di vibrazione della lamina, si ottiene un fenomeno di risonanza molto pronunziato; la lastrina vibra molto energicamente, e può anche scaldarsi al punto da diventare rossa e frantumarsi in bricciole, se la d. d. p. applicata è di ampiezza eccessiva. Si dice allora che la lastrina ha la stessa frequenza, e quindi la stessa onda, della d. d. p. applicata.

L' onda propria del quarzo è legata al suo spessore, essendo di circa 110 m. di onda per ogni millimetro di grossezza, per lastrine tagliate perpendicolari alle facce del prisma, e di circa 150 m. per $^{m}/_{m.}$ per le lastrine tagliate parallele alle facce del prisma.

Ora si deve tener presente che quando un quarzo è eccitato, nelle successive compressioni o dilatazioni si sviluppano sulle due faccie cariche elettriche, le quali raggiungono la massima ampiezza quando si abbia la massima vibrazione, cioè alla risonanza: questa poi è estremamente acuta, perchè il quarzo presenta un decremento piccolissimo (pochi centomillesimi), cosicchè le cariche che si ottengono sulle due facce assumono un valore apprezzabile solo quando è raggiunta con molta esattezza la risonanza. In queste condizioni la lamina di quarzo si presenta come un circuito oscillante in risonanza, in

quanto in questo la d. d. p. alle armature del condensatore può essere molto maggiore della f. e. m. agente, come precisamente avviene sulle due facce del quarzo.

Ne segue che se si dispone una laminetta sul circuito di una valvola a tre elettrodi, ad es. come in fig. 369, e si accorda il circuito oscillante di placca sulla frequenza propria del quarzo, si ottiene facilmente una oscillazione stabile, analogamente a quanto avviene nel caso di circuito generatore a placca e griglia accordate ed accoppiate per la capacità placca-griglia della valvola. Una piccola oscillazione che si inizi nel circuito di placca induce una d. d. p. oscillante tra griglia e filamento, attraverso la capacità interelettrodica; questa piccola d. d. p., essendo in risonanza con la frequenza del quarzo, produce una vibrazione sensibile della lamina e una corrispondente d. d. p. alternata sulla griglia: questa d. d. p. si riporta amplificata nella placca, la quale induce una f. e. m. maggiore sul quarzo, e questo una maggiore d. d. p. sulla griglia e così via. La oscillazione che si innesca ha naturalmente la frequenza propria del quarzo.

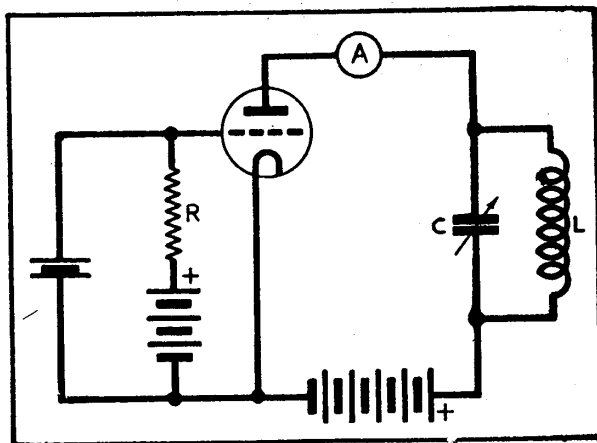
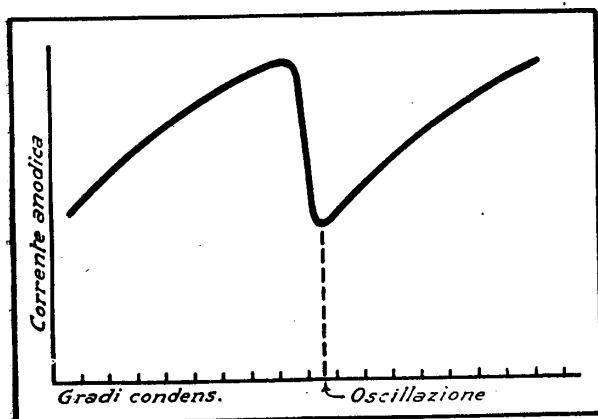
Fig. 370.

Per poco che la frequenza del circuito si scosti dalla frequenza propria del quarzo l'innesco non avviene più, sia a causa del piccolissimo decremento del quarzo come oscillatore, sia perchè fuori della risonanza vengono a mancare le condizioni di innesco delle oscillazioni (f. e. m. di segno opposto sulla placca e sulla griglia).

Corrente anodica
Gradi condens.
Oscillazione

Fig. 371.

Un altro schema di circuito stabilizzato col quarzo è indicato nella fig. 370, nella quale l'induttanza L è sostituita da una resistenza R opportunatamente scelta in relazione all'onda da generare.

Per innescare l'oscillazione basterà variare la frequenza del circuito L C (fig. 370) mediante la variazione lenta del condensatore C, osservando il milliampermetro A. Quando l'oscillazione sta per innescarsi, si ha un leggero aumento della corrente anodica, seguito da un brusco abbassamento (fig. 371), seguito a sua volta, se si continua a variare C nello stesso senso, da un lento aumento. La condizione di migliore oscillazione corrisponde alla minima corrente anodica.

Il circuito ora esaminato trova applicazione sia negli oscillatori piloti delle stazioni trasmittenti rt. ed rf, sia nelle cosidette eterodine a quarzo, impiegate nelle misure di frequenza di precisione.

334. - CIRCUITI TRASMITTENTI A OSCILLATORE PILOTA COMANDATO DAL QUARZO. — I circuiti piloti sono normalmente di piccola potenza, cioé da frazioni di watt sino a qualche decina di watt.

Il problema da risolvere nei trasmettitori a pilota è quello di amplificare le piccole oscillazioni del circuito pilota, evitando le oscillazioni spontanee che potrebbero innescarsi fra i circuiti oscillanti di placca e di griglia delle valvole amplificatrici, e che renderebbero inutile il controllo del quarzo. Si deve quindi ricorrere alla neutralizzazione della capacità

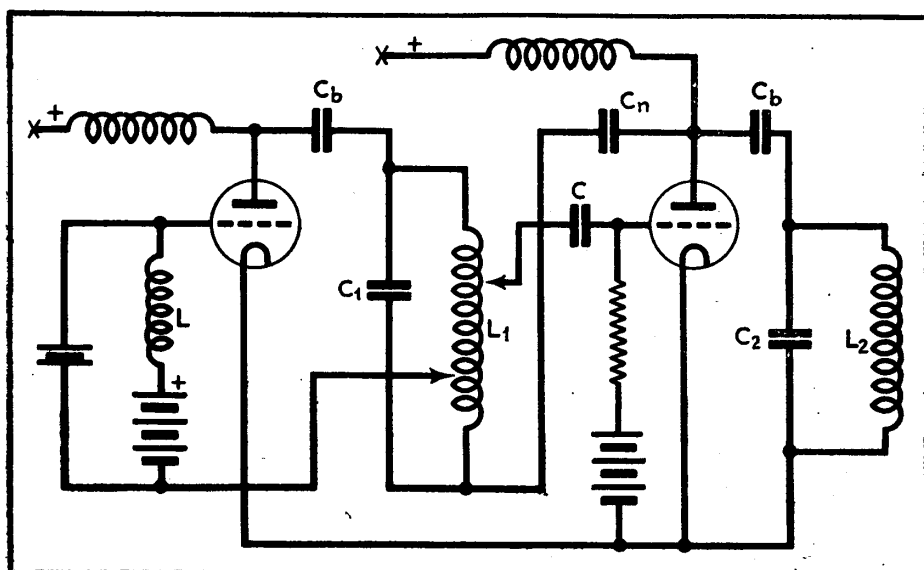



Fig. 372.

placca-griglia della valvola amplificatrice ed alla rigorosa schermatura delle parti che, accoppiandosi fortuitamente, potrebbero dar luogo all' innesco (fig. 372). Più semplice è l'amplificazione con moltiplicazione di frequenza, che si applica specialmente per generare onde molto corte, e che si ottiene utilizzando le armoniche, generalmente la seconda armonica, delle oscillazioni precedenti. Con questo metodo, partendo ad es. da un pilota al quarzo di 120 metri di onda, si potrà accoppiarlo ad una valvola amplificatrice, sulla cui placca siavi un circuito accordato sull' onda di 60 metri ; e questo a sua volta si farà agire su una valvola nel cui circuito di placca siavi un circuito accordato su 30 m., che può essere quello di aereo. Partendo ad esempio da 10 watt nel pilota a 120 m., si può passare alla prima amplificatrice con 500 watt su 60 metri, e quindi alla seconda amplificazione con 5 kw. su 30 metri d'onda.

335. - ETERODINE A QUARZO. — Un circuito generatore a quarzo può costituire una eterodina per una o più onde fisse, corrispondenti a uno o più quarzi di dotazione, e così

servire per verificare la taratura dei circuiti ricevitori, nei punti corrispondenti alle frequenze dei quarzi.

Per verificare un circuito ricevitore munito di reazione, questo si metterà in ricezione sull'onda della eterodina a quarzo, posta vicino ad esso, e si innescheranno le oscillazioni, in modo da avere dei battimenti udibili. Quando, variando l'onda del ricevitore, i battimenti si annullano, il ricevitore sarà esattamente accordato sull'onda del quarzo, e così sarà determinato un punto ben certo della taratura. Se nel circuito del generatore a quarzo si dispone un telefono (al posto del milliamperometro A, negli schemi delle figg. 369 e 370), si potrà utilizzare l'eterodina come un ricevitore, per verificare la taratura di un posto trasmittente. A questo scopo, fatto innescare il quarzo, si trasmetterà col circuito da verificare ; e si riceverà sul telefono della eterodina a quarzo, modificando l'onda del trasmettitore. Ad un certo punto si sentiranno dei battimenti, di tonalità variabile, che spariranno quando l'onda del trasmettitore sarà esattamente uguale a quella del quarzo: si sarà così fissato un punto di taratura del trasmettitore. Disponendo di vari quarzi tarati si potranno analogamente fissare altri punti. La ricezione in questo caso è resa possibile dalle proprietà rettificatrici della valvola per la corrente di placca, comprendente i battimenti dovuti alla sovrapposizione delle oscillazioni del quarzo con quelle indotte dal trasmettitore in esame.

Capitolo XXIV.

Produzione, propagazione e ricezione delle onde corte.

336. - Generalità. — L' impiego delle onde corte, cioè di lunghezza compresa fra 10 e 100 m., diffusosi enormemente in questi ultimi anni, deve il suo straordinario sviluppo alle proprietà eccezionalmente favorevoli della propagaziona di tali onde sulla superficie terrestre.

È infatti risultato in modo ormai sicuro che la potenza occorrente per mantenere i collegamenti radio con onde corte è inferiore a quella necessaria per le onde molto lunghe. Ragione essenziale di questo comportamento sta nel fatto che, se è vero che le onde più lunghe si attenuano meno rapidamente di quelle più corte, per effetto dell' assorbimento sulla superficie terrestre, per contro le onde più corte dànno luogo a riflessioni negli alti strati atmosferici, cosicchè esse ritornano sulla superficie terrestre, spesso con piccole attenuazioni, anche dopo percorsi molti lunghi. Gli strati di cui trattasi, detti anche di Kennelly-Heaviside avrebbero altezze variabilissime, di solito comprese tra 50 e 200 Km., ma che possono anche eccezionalmente oltrepassare tali limiti, sia in più che in meno.

Nella ignoranza di questo ultimo fenomeno si era, fino a qualche anno fa, tenuto conto semplicemente dell' assorbimento dovuto alla superficie terrestre, e su questa base risultava evidente il vantaggio di aumentare sempre più la lunghezza d' onda, perchè, in effetto, la cosidetta *onda diretta*, che arriva dal posto trasmittente al posto ricevente percorrendo la superficie del suolo, è in realtà molto più attenuata per le onde corte che non per le onde lunghe, e l' attenuazione cresce rapidamente, a misura che diminuisce la lunghezza d' onda.

L' attitudine a riflettersi negli alti strati atmosferici è per contro molto maggiore per le onde corte che non per le lunghe, cosicchè, mentre praticamente le onde superiori ai 1000 m. non dànno luogo normalmente a riflessioni sensibili, cosicchè per tali onde la sola propagazione utile è quella diretta, al contrario, per le onde inferiori ai 100 metri, l' onda diretta riesce rapidissimamente attenuata a pochi chilometri dalla stazione trasmittente, e l' onda che si riceve a maggiori distanze è quindi esclusivamente dovuta alla riflessione, cioè al percorso nell' atmosfera.

Un' altra caratteristica che distingue nettamente le onde corte al disotto dei 100 metri da quelle lunghe al disopra dei 1000 metri è dovuta ai fenomeni speciali derivanti dall' alta frequenza delle oscillazioni, fenomeni che richiedono, nella costruzione degli apparati, norme molto diverse per le due specie di onde.

È infatti da considerare che con l' aumentare della frequenza le correnti alternate tendono sempre più ad uscire dall' interno dei conduttori, per mantenersi esclusivamente alla loro superficie. Di qui un aumento notevole nella resistenza ohmica dei conduttori, e quindi nelle perdite di energia nei conduttori stessi, per effetto Joule. Analogamente, le perdite per effetti di induzione nei corpi isolanti o conduttori circostanti crescono notevolmente con la frequenza. Infine l' aumento della frequenza fa aumentare la reattanza di induttanza, e fa diminuire la reattanza di capacità, con la conseguenza che le correnti oscillanti di altissima frequenza vengono facilmente deviate dai conduttori vicini per effetto di capacità, e tendono a saltare le bobine, quando queste presentino, oltre che induttanza, anche una piccola capacità propria. Questa piccola capacità propria può fornire in realtà un passaggio di minore impedenza che non quello offerto dalla induttanza delle spire della bobina. Quando ciò avviene la bobina non si comporta naturalmente più come una pura induttanza, ma piuttosto come una capacità.

Una terza conseguenza dall' altissima frequenza sta nella facilità con cui i circuiti si inducono mutuamente, perchè la reattanza di mutua induzione cresce con la frequenza, il che significa che conduttori anche relativamente lontani, e quindi aventi un piccolo coefficiente di mutua induzione, possono ricevere delle forze elettromotrici indotte abbastanza notevoli, per effetto delle correnti di altissime frequenze che percorrano dei conduttori vicini.

La tecnica delle onde corte è quindi dominata dallo speciale modo di propagazione delle onde e da queste speciali proprietà delle altissime frequenze.

337. - Apparecchi di trasmissione. — La costruzione degli apparati di trasmissione per le onde corte esige speciali cure, per tener conto delle proprietà ora citate. I circuiti schematici più usati sono quelli delle figure 251, 252, 253 e 254 (nr. 231); ma più che allo schema, l' attenzione va portata alla realizzazione pratica dell' apparecchio.

Gli apparati devono essere, in generale, bene distribuiti e bene separati gli uni dagli altri, in modo da determinare reciprocamente le minime induzioni parassite, sia elettrostatiche che elettromagnetiche.

I condensatori e le bobine devono essere a minime perdite, e cioè avere dei sostegni isolanti più che possibile esili e di ottimi materiali isolanti; i condensatori saranno solo ad aria, le bobine a spire rigide, nude e bene staccate le le une dalle altre. Quando si impiegano circuiti amplificatori ad a. f., questi devono essere bene schermati, con schermi non troppo addossati agli apparati, e bene neutralizzati.

Speciali cure devono essere osservate per mantenere la stabilità delle onde emesse, perchè piccole variazioni della lunghezza d'onda importano variazioni notevolissime di frequenza, col pericolo quindi di far perdere il collegamento.

I trasmettitori devono essere perciò normalmente del tipo a circuito pilota, il quale può essere stabilizzato col quarzo piezoelettrico o con adatti dispositivi, che assicurino tra l'altro la perfetta rigidità dei circuiti e la perfetta costanza delle tensioni di alimentazione; è quindi necessario l'uso di batterie di accumulatori, sia per l'accensione dei filamenti che per le alimentazioni anodica e di griglia.

Dal circuito pilota si può salire ai circuiti di potenza sia mediante semplice amplificazione neutralizzata, sia mediante successive moltiplicazioni di frequenza, facendo cioè il pilota di frequenza sottomultipla di quella finale, e amplificando le armoniche dei successivi stadi, come si è già detto al nr. 333.

Le valvole di potenza da impiegare nei generatori ad onde corte devono essere specialmente costruite, ed avere vuoto molto spinto, piccole capacità interne, e bene proporzionate connessioni degli elettrodi con l'esterno. Infatti, i fenomeni di ionizzazione sembrano più facilmente verificabili per le altissime frequenze; donde la necessità di vuoto più spinto. Inoltre le capacità interne delle valvole dànno luogo, per le altissime frequenze, ad accoppiamenti più efficaci e perciò più dannosi, ed infine le correnti di spostamento, che si verificano attraverso le capacità interelettrodiche, in aggiunta alle correnti elettroniche dovute alle emissioni del filamento, possono scaldare fortemente i conduttori di entrata e di uscita, e gli stessi elettrodi, donde la necessità di connessioni più grosse.

338. - Apparecchi riceventi. — Gli apparecchi riceventi da usare per le onde corte sono quelli indicati nelle figure 306, 309, 321, 325, 328, 330. Al capitolo XIX nr. 293, e al capitolo XX si sono già indicate le principali norme relativamente a questi tipi di ricevitori.

Si può solo aggiungere che i fenomeni ai quali si è accennato al nr. 335, inerenti alle speciali proprietà delle altissime frequenze, devono sempre essere tenuti presenti nella costruzione degli apparati ad onde cortissime. Specialmente sono da considerare la facilità di accoppiamento fra parti lontane, l'aumento delle perdite nei dielettrici, e la possibilità di derivazioni capacitive; tutte cause che tendono a dare oscillazioni spontanee od a ridurre l'intensità dei segnali.

339. - Propagazione delle onde corte. — Si è già accennato che il fenomeno della propagazione delle onde corte è molto complicato: malgrado infatti i tentativi di moltissimi scienziati non è stata ancora possibile una spiegazione logica e coerente di tutti i fenomeni che si verificano in pratica.

Di questi fenomeni alcuni sono di speciale importanza e sono:

La evanescenza (fading), le zone di silenzio, le anomalie giornaliere e stagionali, i fenomeni di eco.

La *evanescenza* è caratterizzata da alternative di attenuazione e di aumento nella forza dei segnali, alternative che sono tanto più rapide, in generale, quanto più corte sono le onde. Si ritiene che questo fenomeno sia dovuto alla sovrapposizione, nel posto ricevente, delle onde che arrivano per diverse strade, partendo dalla stazione trasmittente. Poichè questi percorsi non sono tutti della stessa lunghezza, è evidente che le onde in arrivo possono risultare sfasate fra loro, con risultato che la sovrapposizione ad esempio di due segnali opposti di fase può indebolire o far scomparire il segnale, mentre l'arrivo di onde concordanti di fase può fare aumentare notevolmente il segnale stesso. È però molto probabile che, almeno su alcune evanescenze, influiscano anche i cambiamenti nella distribuzione delle cariche elettriche dell'atmosfera interposta: si ritiene che delle spece di nubi vaganti di elettroni, che costituiscono dei mezzi conduttori, e perciò riflettenti e rifrangenti, producano queste ed altre anomalie della propagazione.

È stato osservato che disponendo diversi aerei, a poche decine di metri gli uni dagli altri, i fenomeni di evanescenza che in essi si verificano non sono concordanti. Perciò nelle grandi stazioni si può spesso rimediare al fenomeno di evanescenza collegando ad uno stesso complesso ricevente parecchie antenne diverse e fra loro distanti qualche decina di metri.

La esistenza di *zone di silenzio* si spiega di solito pensando alla riflessione delle onde negli alti strati atmosferici, ed all'assorbiménto delle onde corte sulla superficie terrestre.

È infatti evidente, per quanto si è detto sulle onde corte, che, ad una certa distanza della stazione trasmittente l'onda diretta che si propaga sulla superficie del suolo possa riuscire completamente assorbita e non più rivelabile, mentre quella che si propaga negli alti strati atmosferici non è ancora ridiscesa sulla superficie terrestre. Vi è quindi una zona di silenzio, al termine della quale la ricomparsa dei segnali indica che la riflessione ha rimandato a terra le onde provenienti dalla stazione trasmittente.

Su queste zone di silenzio sono stati osservati molti fenomeni tra di loro non sempre concordanti. Tuttavia è apparso abbastanza nettamente che l'ampiezza di questa zona di silenzio aumenta col diminuire della lunghezza dell'onda. Essa è poco sensibile per le onde superiori ai 50 ÷ 60 metri, è notevole (500 ÷ 600 Km.) per le onde inferiori ai 30-40 metri; raggiunge i 1000 Km. circa per le onde sui 20-25 metri; è ancora più ampia per le onde sui 12-15 metri, per le quali può raggiungere o superare 2 ÷ 3 mila chilometri.

La *dissimmetria o anomalia giornaliera e stagionale,* vale a dire il diverso comportamento delle onde, di giorno, e di notte e nelle ore del crepuscolo od al levare del sole, nonchè nelle varie stagioni dell'anno, è un fenomeno pure molto notato, ma non perfettamente costante nelle sue manifestazioni. Ciò che sembra meglio accertato si è che le onde inferiori ai 15 ÷ 20 metri sono più adatte per

le trasmissioni diurne ed estive e poco per le notturne e per le invernali, mentre quelle un poco più lunghe (40-50 metri) sono più adatte precisamente per la notte e per l'inverno. Le onde fra 100 e 60 metri sono più adatte per distanze relativamente piccole (fino a 500 ÷ 1000 Km.), sia di giorno che di notte. Le onde intorno ai 200 metri sono quelle che hanno meno attitudine, sia di giorno che di notte, per le grandi distanze. Le onde superiori ai 200 metri si propagano a distanze molto maggiori di notte che di giorno. Queste deduzioni sono però semplicemente valevoli come risultati medii, perchè in casi particolari si possono verificare molte eccezioni.

Quando si discende al disotto dei 10 metri, cioè si entra nelle onde ultra corte, l'assorbimento del terreno diventa grandissimo, e le propagazioni ad una certa distanza non possono avvenire se non fra punti che siano sollevati sul terreno ed in vista fra di loro. Per queste onde sono infatti molto nocivi gli ostacoli, anche di poco rilievo.

Inoltre sembra che per tali onde ultracorte la riflessione, cioè il ritorno a terra, non sia possibile, o almeno non sia probabile, o, quanto meno, che avvenga a distanze molto grandi (oltre 5 ÷ 6 mila Km.).

I *fenomeni di eco* vennero messi in evidenza allorquando si cominciò ad usare la registrazione automatica dei segnali r. t. trasmessi a gran velocità con le onde più corte (12 ÷ 20 metri). Vennero allora riscontrate delle perturbazioni che rendevano spesso inintelligibili i segnali stessi, e che non tardarono a mostrare di essere nient'altro che la ripetizione degli stessi segnali, ad un determinato intervallo di tempo, una specie quindi di *eco radioelettrico*. Misurando l'intervallo di tempo, ai quali i segnali si ripetevano, si è potuto constatare che questo intervallo corrispondeva in molti casi al tempo necessario per percorrere, con la velocità delle onde elettromagnetiche, la differenza tra i due archi di cerchio massimo terrestre che congiungono la stazione trasmittente con quella ricevente. Si verificò ad esempio che un segnale partente da Buenos Ayres arrivava a Nauen sia per la via più breve, lungo l'arco minore di circolo massimo terrestre che congiunge le due stazioni, sia percorrendo l'arco maggiore dello stesso circolo massimo. Il secondo arrivava quindi in ritardo di tutto il tempo occorrente per percorrere la differenza dei due tragitti.

Sulle onde più corte si verificano inoltre facilmente delle ripetizioni dei segnali ad intervallo pressapoco di $^1/_7$ di secondo, cioè del tempo precisamente occorrente alle onde elettromagnetiche per percorrere tutto un giro intorno alla Terra. Ciò indica chiaramente che i segnali r. t. possono in condizioni favorevoli percorrere anche alcune volte il giro della Terra senza affievolirsi eccessivamente.

Altri fenomeni di eco vennero constatati ad intervalli di tempo molto minori e molto maggiori di quelli ora citati; nel caso di intervalli maggiori, ciò farebbe ritenere che delle onde elettromagnetiche possono raggiungere distanze molto grandi fuori della Terra, ed essere poi riflesse e ritornare sulla Terra stessa.

Le distanze che risulterebbero dall' esame degli intervalli di tempo sono molto varie, e possono oscillare tra 1000 Km. e qualche milione di Km.; sembrerebbe quindi che le onde e. m. possano ancora riflettersi a distanze superiori a quella che intercede fra la Terra e la Luna.

Il fenomeno della eco elettromagnetica ha una grandissima importanza scientifica per lo studio della costituzione degli alti strati atmosferici e della radiazione solare; ma ha altresì una grande importanza pratica, per ora in senso negativo, per i disturbi che esso apporta alla ricezione dei segnali, quando questi sono trasmessi alle maggiori velocità, perchè in tal caso i segnali eco giungono tanto in ritardo, rispetto ai segnali originali, da confondersi coi segnali successivi, rendendo quindi difficile la lettura dei segnali stessi.

Uno dei rimedi che tende ad attenuare l' inconveniente della eco è costituito dagli aerei direttivi od a fascio, che limitano la ricezione dei segnali entro un angolo ristretto, ed in modo speciale evitano od attenuano il segnale che arriva per l'arco maggiore del circolo massimo terrestre. Di questi aerei si parla al nr. seguente.

340. - AEREI PER ONDE CORTE. — Fino a qualche anno fa, l'uso di onde quasi sempre superiori ai 300-400 metri faceva sì che gli aerei, non potendo avere dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda, venivano sempre eccitati su una frazione della lunghezza d'onda, normalmente minore di $^1/_4$, e che poteva raggiungere $^1/_{10}$. Con ciò si veniva a ridurre notevolmente la resistenza di irradiazione, e quindi la potenza irradiata.

L' introduzione delle onde corte ha permesso di adoperare degli aerei di lunghezza maggiore dell'onda generata, senza ricorrere a dimensioni eccezionali negli aerei stessi e nei loro sostegni.

Lo studio della irradiazione degli aerei così eccitati è alquanto complicato. Si può dire a titolo di esempio che se un aereo viene eccitato in mezza lunghezza d'onda, cioè se si induce su di esso, mediante la inserzione di una capacità alla base, un'onda doppia della sua altezza, l'irradiazione è preponderantemente diretta parallelamente al suolo, cosicchè questa eccitazione è quella che maggiormente facilita la propagazione dell'onda diretta sulla superficie del suolo (fig. 373). In tale figura AB è l'aereo, AMN è il diagramma di irradiazione e AN la direzione di massima irradiazione. Se invece si eccita l'aereo su una lunghezza d'onda minore del doppio dell'aereo stesso, in modo che sopra l'aereo sia compreso un certo numero (intero e maggiore di due) di quarti di lunghezza d'onda, allora la irradiazione assume in generale valori diversi al variare dell' inclinazione della direzione zenitale che si considera.

Si possono quindi ottenere delle emissioni preponderanti sopra determinate direzioni più o meno inclinate colla verticale, con risultato quindi di favorire la riflessione delle onde, perchè l'energia irradiata viene prevalentemente lanciata in direzioni inclinate sull'orizzonte, il che sembrerebbe evitare l'assorbi-

mento del suolo e favorire la riflessione negli alti strati. La fig. 374 dà il diagramma AMPN della irradiazione, per un aereo AB eccitato su un'onda intera; la massima energia viene irradiata sotto un angolo di 38° coll'orizzonte (direzione AP).

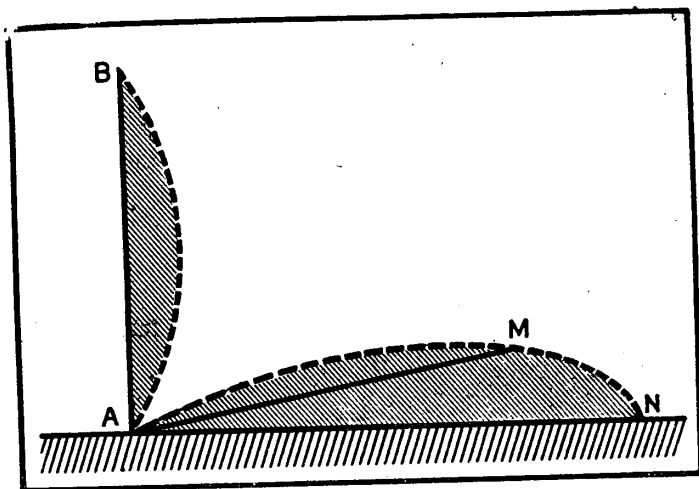



Fig. 373.

Numerose esperienze compiute a questo riguardo hanno però dimostrato che la influenza di questi vari modi di eccitazione non è così grande come

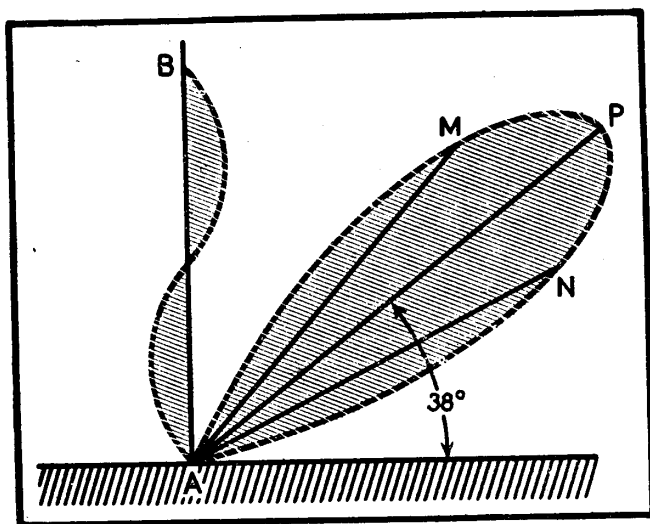



Fig. 374.

appare teoricamente; così è stato rilevato che un tipo molto efficiente di aereo trasmittente per onde corte è quello a dipolo orizzontale, costituito da due tratti di filo adiacenti, lunghi ciascuno $^1/_4$ di lunghezza d'onda e disposti orizzontal-

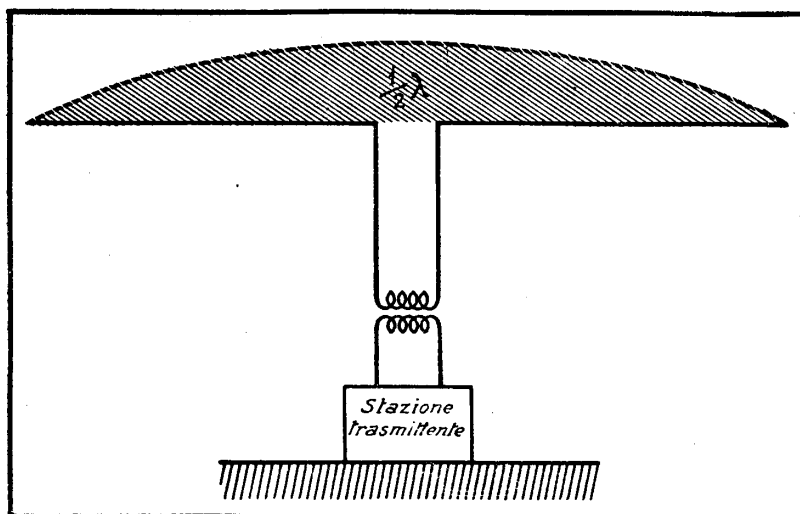



Fig. 375.

mente l'uno sul prolungamento dell'altro, a qualche decina di metri sul suolo ed eccitati al centro (fig. 375). Questo tipo di aereo dovrebbe irradiare egualmente bene in tutti i piani che passano per il dipolo, con preponderanza nelle

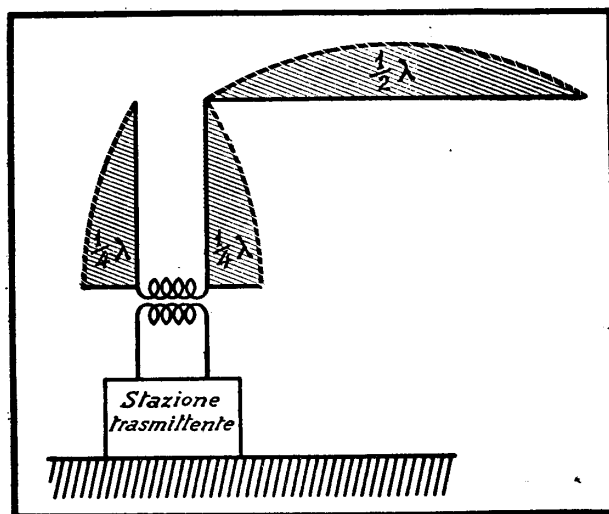



Fig. 376.

direzioni contenute nel piano equatoriale, e con radiazione nulla nella direzione dell'asse del dipolo.

Un altro modo di eccitazione che ha dato buoni risultati è il così detto aereo Zeppelin (fig. 376), nel quale la parte irradiante è eccitata in mezza onda, mentre la parte sottostante funziona da eccitatrice o alimentatrice.

341. - Aerei a fascio. — La dirigibilità della trasmissione e della ricezione radio è un problema alla soluzione del quale i tecnici italiani hanno portato un grande contributo. I nomi di Marconi, Artom, Bellini, Tosi, sono quelli più strettamente legati allo studio delle questioni relative. Mentre però per la ricezione r. t. sono state attuate da molti anni delle soluzioni soddisfacenti (vedi radiogoniometria), per la trasmissione solo l' impiego delle onde più corte ha permesso di attuare in grande i dispositivi relativi già studiati da circa venti anni. Questi dispositivi, opportunamente modificati, sono ora in piena applicazione nei più importanti collegamenti r. t. mondiali. Gli aerei direttivi o a fascio (beam) servono non solo per la trasmissione ma anche per la ricezione, per la nota proprietà di qualsiasi sistema aereo di irradiare le onde in trasmissione con le stesse

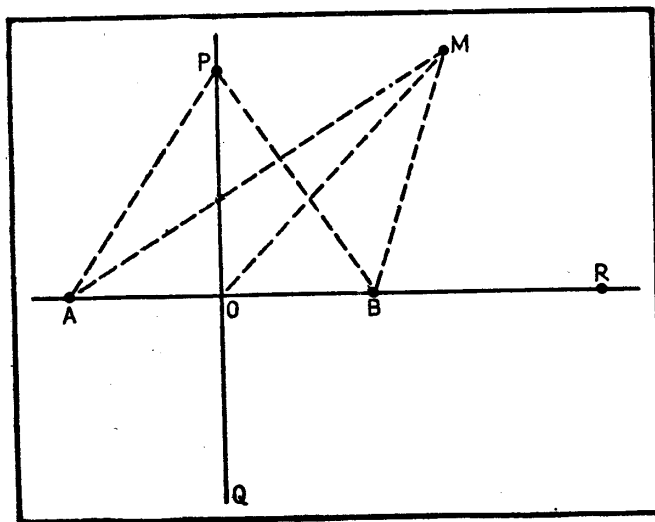



Fig. 377.

modalità con le quali esso le capta in ricezione. Un sistema aereo che presenta un massimo di irradiazione in una direzione, presenta perciò un corrispondente massimo di efficienza in ricezione nella stessa direzione.

Il principio sul quale si basano gli aerei direttivi è quello della interferenza delle onde, cioè la proprietà che hanno le onde stesse di sommare o di sottrarre i propri effetti, secondochè esse sono in fase o in opposizione di fase nel punto in cui agiscono. Per sfruttare questo principio è necessario disporre diversi centri di irradiazione, e farli percorrere da correnti opportunamente regolate nella fase, in modo che in certe direzioni gli effetti si sommino ed in certe altre si elidano. L'esempio più semplice è dato dall'aereo a telaio rettangolare, avente due lati verticali. Questi due lati sono percorsi da correnti opposte di fase, perchè le correnti dei due lati hanno bensì la stessa intensità, ma hanno direzioni opposte, essendochè nello stesso istante una è diretta in alto e l'altra in basso.

Si deduce subito da ciò (fig. 377) che, se A e B sono le tracce dei lati verticali del telaio, in tutti i punti del piano P O Q verticale di simmetria, cioè perpendicolare al piano del telaio e passante a metà (O) tra i due lati verticali, gli effetti delle correnti che percorrono tali due lati sono sempre esattamente uguali e contrari; quindi è nullo l'effetto complessivo in questo piano. Nelle altre direzioni (O M) gli effetti sono bensì contrari, ma non esattamente uguali, perchè qualunque punto M, considerato fuori del piano P O Q di simmetria precedente, è sempre più vicino ad un lato (B) che all'altro (A), cosicchè esso riceverà i due effetti con uno sfasamento proporzionato alla differenza delle due distanze, e la loro sovrapposizione non sarà più nulla.

Per punti (R) che si trovino nel piano A B del telaio, la differenza delle distanze R A e R B è massima, quindi sarà massimo lo sfasamento e minimo l'effetto neutralizzante; quindi nella direzione del piano si ha la massima radiazione. Inoltre, quanto più grande è la distanza A B (cioè quanto più lungo è il telaio) di fronte alla lunghezza dell'onda emessa, e tanto più grande sarà lo sfasamento con cui gli effetti giungono in R: tanto minore perciò l'effetto neutralizzante e maggiore l'effetto risultante (1).

Questo ragionamento però vale specialmente per i telai di cui le dimensioni siano sempre molto minori della lunghezza dell'onda, e porta alla conseguenza che conviene aumentare il lato orizzontale del telaio per aumentarne l'effetto a distanza. Si può aggiungere che facendo più alti i lati verticali, se ne aumenta il potere irradiante. Conviene dunque fare grandi sia le dimensioni orizzontali che quelle verticali, cioè dare la maggior possibile superfice ai telai, come si era già visto.

Se però si immagina di aumentare la distanza A B fino a raggiungere una esatta lunghezza d'onda, allora in tale caso gli effetti delle correnti opposte che percorrono i due lati verticali verrebbero ad essere in opposizione anche sul piano del telaio, perchè lo sfasamento tra gli effetti delle due correnti sarebbe esattamente di un periodo completo, ciò che equivale ad uno sfasamento nullo.

Di conseguenza gli effetti delle due correnti giungerebbero in R come se entrambe partissero dallo stesso punto; e poichè le correnti stesse sono per ipotesi in opposizione di fase, così il loro effetto complessivo sarebbe nullo nel piano A B R.

Col sistema ora considerato del telaio, equivalente a due antenne eccitate con correnti opposte di fase, si ha effettivamente un massimo di irradiazione nel

---

(1) Questo ragionamento trascura l'effetto irradiante dei lati orizzontali dei telai, nella considerazione che il loro effetto irradiante è scarso, essendo orizzontale la f. e. prodotta, quindi facilmente assorbita dal terreno. In realtà, per le onde corte, anche i lati orizzontali possono irradiare, come si è visto per i dipoli orizzontali. Il loro effetto massimo si ha appunto nel piano di simmetria, in cui è nullo l'effetto dei lati verticali; ciò può spiegare la minore direttività che si verifica con i telai impiegati per le onde più corte.

piano del telaio, quando la distanza tra i lati verticali è una mezza onda, e un minimo quando tale distanza è zero o un'onda intera. Più generalmente l'effetto è massimo se la distanza tra le antenne A e B è un multiplo dispari di mezze onde, e minimo se la distanza è un multiplo pari di mezze onde. Questo caso particolare fa vedere come la fase e la distanza tra le antenne possano produrre effetti direttivi molto netti in determinate direzioni.

Basandosi su questi princìpi si possono immaginare molti dispositivi di antenne allineate nei quali, con opportune distanze tra le antenne e opportune

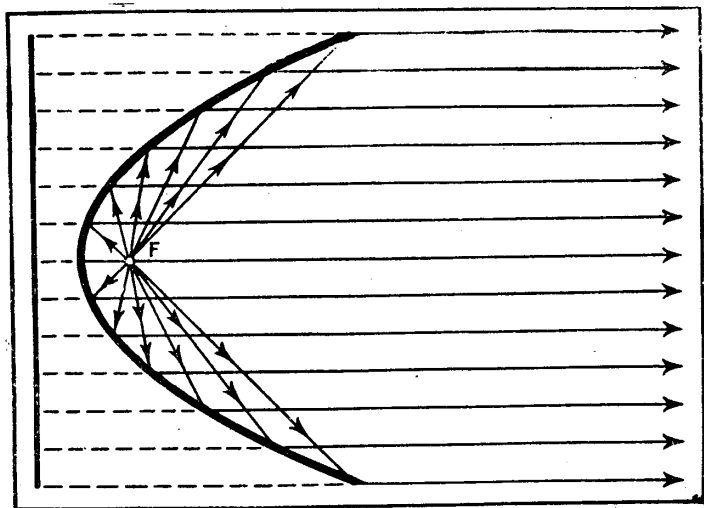



Fig. 378.

regolazioni delle fasi delle loro correnti, è possibile ottenere effetti marcatissimi di direzionalità.

Un altro principio utilizzabile per ottenere facilmente delle correnti convenientemente sfasate è quello dei *riflettori*. Sono chiamati riflettori degli aerei isolati o messi a terra, ma non eccitati direttamente, bensì solo indirettamente da altri aerei nei quali si fa realmente giungere la corrente. L'aereo eccitato induce nel riflettore una corrente, naturalmente meno intensa, della propria. La fase di questa corrente rispetto a quella dell'aereo eccitatore, dipende non solo dalla distanza dei due aerei (che è sempre una frazione della lunghezza d'onda), ma altresì dalle caratteristiche di accordo del riflettore sull'onda eccitatrice (la corrente in un circuito con essa sintonizzato è sempre in fase con la f. e. m. agente, mentre è pressochè in quadratura con la stessa f. e. m. se il circuito è molto disaccordato). Regolando opportunamente distanze e sintonizzazione, si possono ottenere i risultati che si desiderano.

Questo principio del riflettore è stato uno dei primi, essèndosi applicato nei cosidetti aerei parabolici, costituiti da una serie di antenne verticali (fig. 378 e 379), distanti tra loro da $\frac{1}{8}$ a $\frac{1}{10}$ della lunghezza d'onda, e disposte lungo un ramo di parabola orizzontale. L'aereo eccitatore era collocato al foco F della parabola, di cui la distanza focale era da $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ della lunghezza d'onda. Si può dimostrare che un tale sistema concentra praticamente tutta l'emissione nella direzione dell'asse della parabola, e limitatamente alla parte verso la bocca della stessa. Ciò però esige che le dimensioni della parabola siano molto ampie rispetto alla

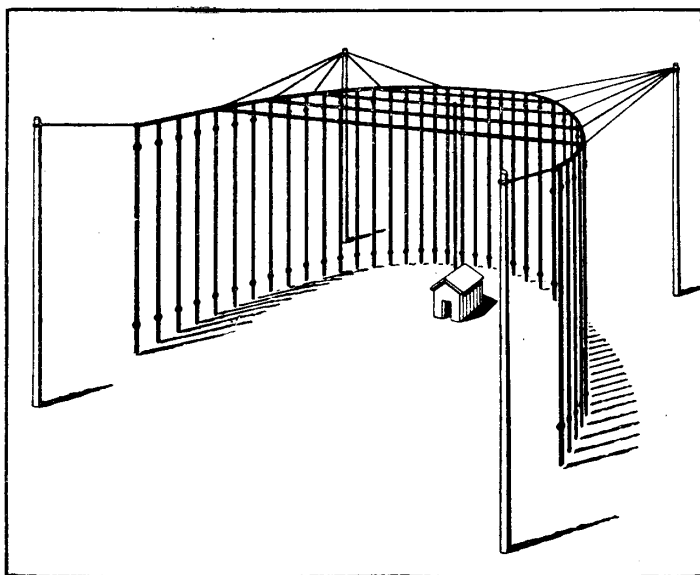



Fig. 379.

lunghezza d'onda, il che è causa di complicazione, ingombro e costo notevoli. Questo sistema è perciò stato abbandonato per i più moderni, ad aerei allineati, con o senza riflettore.

Prima di parlare di questi è ancora necessario accennare al geniale dispositivo Franklin adottato negli aerei Marconi ed applicabile nelle antenne eccitate su varie semionde. Questo dispositivo, consiste nell' inserire su ciascun filo aereo verticale, ad intervalli di $\frac{1}{2}$ onda, una bobina (bobina di fase), opportunamente calcolata, in modo da assorbire giusto una mezza onda: in tal modo sull'aereo rimangono solo delle semionde tutte in fase, il che aumenta la efficienza dell'aereo e le sue proprietà direttive nel piano orizzontale (fig. 380). Pratica-

mente infatti, con questo sistema la massima radiazione avviene a circa 15^0 sull'orizzonte.

Vi sono attualmente vari sistemi di aerei direttivi (Marconi; Chireix-Mesny; Telefunken). Si accennerà al tipo Marconi, che è il più diffuso ed efficiente.

Fig. 380.

Esso comprende un allineamento di 12 a 16 antenne, ciascuna comprendente 2 ÷ 3 mezze onde verticali come in fig. 380, disposte una accanto all'altra, a intervallo di circa una mezza onda (fig. 381).

A circa un quarto di onda dietro a questo sistema vi è il sistema riflettore, costituito da un allineamento parallelo al precedente, e comprendente aerei uguali ai precedenti, ma isolati ed in numero doppio (fig. 381).

È di grande interesse il sistema di alimentazione delle antenne, che ha per iscopo di fare vibrare esattamente in fase tutti gli aerei eccitatori. La corrente viene a tale scopo distribuita da appositi conduttori costituiti da due cilindri concentrici; l'esterno di tubo di rame, grosso vari centimetri, l'interno di filo di rame di qualche millimetro.

Il collegamento con gli apparati generatori a mezzo di di questi alimentatori (feeder), deve avvenire in modo da evitare qualsiasi riflessione dell'energia dall'aereo all'indietro, e da ottenere una esatta sincronizzazione di tutte le correnti, ciò che si raggiunge mediante successive biforcazioni dei conduttori provenienti dal posto generatore (fig. 381), e mediante speciali dispositivi di accoppiamento degli alimentatori agli aerei.

Con questi accorgimenti, di cui la esatta messa a punto ha richiesto la soluzione di problemi di altissimo carattere scientifico e tecnico, Marconi ha potuto ottenere dei fasci irradianti aventi una apertura di appena 11°, ciò che comporta una concentrazione enorme dell'energia, che sarebbe altrimenti distribuita sui 360 gradi dell'orizzonte.

Con i moderni impianti a fascio per la trasmissione e per la ricezione sono impiegate di solito due lunghezze d'onda, una sui 30 ÷ 40 m. per la notte, ed una sui 12 ÷ 18 m. per il giorno.

L'alimentazione con soli 20 Kw. permette il collegamento dei punti più lontani sulla superficie terrestre, con velocità di trasmissione che possono rag-

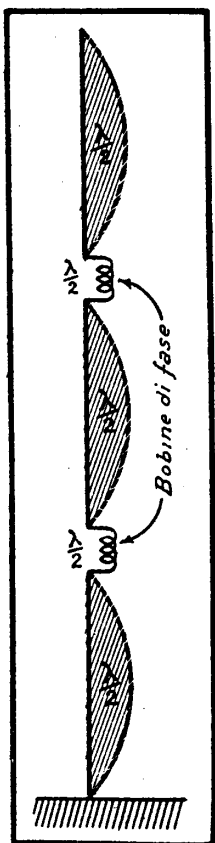
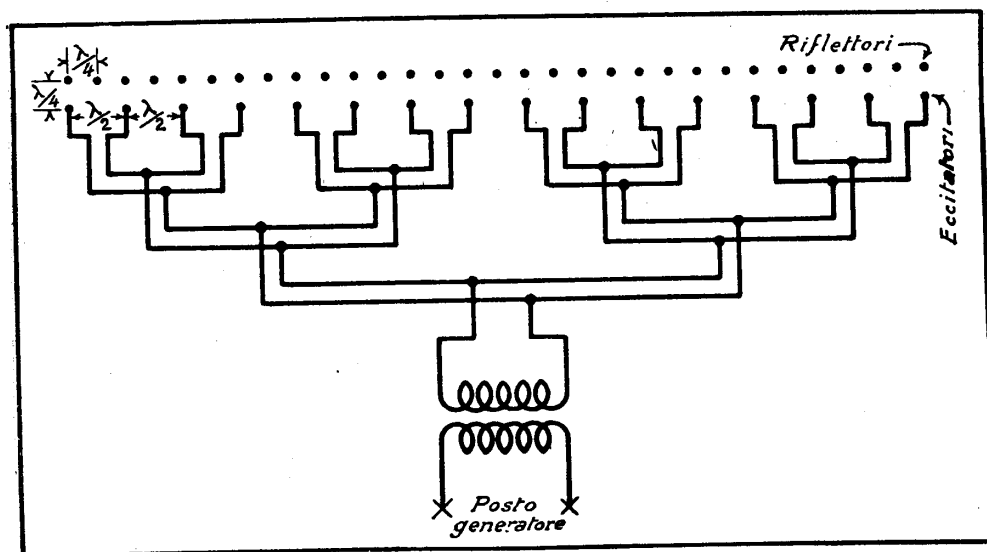



Fig. 381.

giungere la media di 180 parole al minuto. E sono poco più di 30 anni che Marconi stesso riusciva per la prima volta a comunicare a pochi chilometri con le onde elettromagnetiche!

Capitolo XXV.

Misura delle lunghezze d'onda.

342. - Ondametro semplice. — È uno strumento destinato a misurare la lunghezza delle onde generate dalle oscillazioni elettriche. Consiste in un circuito oscillante chiuso, di cui la frequenza può essere variata mediante la variazione della capacità, essendo fissa l'induttanza, oppure mediante variazioni di induttanza, essendo fissa la capacità. La fig. 382 rappresenta il circuito di un ondametro a capacità variabile: L è l'induttanza fissa; C la capacità variabile. I limiti entro i quali si può far variare la capacità determinano i limiti di frequenza, e quindi di lunghezza d'onda, dell'ondametro; questi però sono molto più stretti dei limiti della capacità, perchè la lunghezza d'onda dipende dalla radice quadrata della capacità (nr. 110). Così se la capacità può variare da 1 a 10, la corrispondente lunghezza d'onda varierà solo da 1 a 3,16.

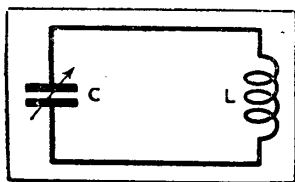



Fig. 382.

In pratica la massima variazione di capacità che si può ottenere con un condensatore a tamburo è da 1 a 20, e quindi la variazione è da 1 a 4,5 circa per l'onda; normalmente però la variazione è minore, circa da 1 a 3 per la lunghezza d'onda. Ciò significa che impiegando un certo condensatore variabile con una certa induttanza fissa, si potrà variare l'onda per esempio da 100 a 450, variando semplicemente la capacità del condensatore. Se con questo stesso condensatore si mettesse invece un'induttanza 100 volte maggiore, allora con la stessa variazione del condensatore si otterrebbero le onde tra 1000 e 4500 metri, cioè 10 volte maggiori. Il condensatore può essere graduato in gradi, oppure in lunghezze d'onda; in quest'ultimo caso, per avere una graduazione regolare, si dovrà ricorrere a condensatori con armature a profilo speciale, come è detto al nr 49. Per ondametri di una certa precisione è necessario avere condensatori ad aria, e muniti di movimento micrometrico.

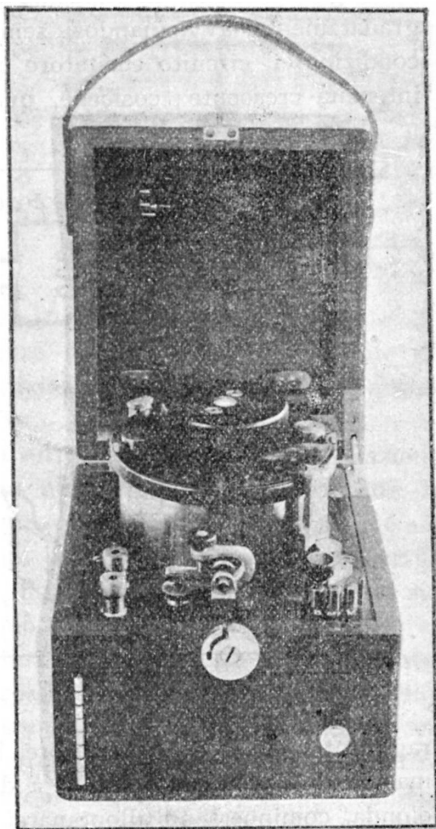
In uno dei primi tipi di ondametro Marconi l'induttanza era una spirale quadra contenuta nel coperchio dell'apparecchio (fig. 383). Più spesso l'induttanza é divisa in due o tre sezioni, che si possono inserire mediante contatti o

spine; in questo caso l'ondametro avrà due o tre scale di lunghezza d'onda. In altri tipi vi sóno diverse bobine inseribili a spina, del tipo di quelle descritte al nr. 65.

Per usare l'ondametro, lo si dispone in vicinanza del circuito oscillante di cui si vuole misurare la frequenza o la lunghezza d'onda, in modo da accoppiare con questo l' induttanza dello strumento, e si muove poi il condensatore variabile, fino a che la frequenza dell'ondametro sia diventata, come si vedrà, uguale a quella del circuito che si esamina. Se la graduazione del condensatore è in lunghezze d'onda, basterà leggere su di esso l'onda; se invece è in gradi occorrerà riferirsi alla apposita tabella di taratura che dà per le varie graduazioni i valori della lunghezza d'onda.

Fig. 383.

In misure di una certa precisione, l'ondametro non si accoppia direttamente al trasmettitore, ma con l' intermedio di un circuito aperiodico, il quale ha due bobine, una per l' accoppiamento con l' ondametro, l'altra per l'accoppiamento con il trasmettitore. Spostando quest'ultima (che assume il nome di bobina di esplorazione), rispetto al circuito trasmittente, si varierà l'accoppiamento dell'ondametro con il trasmettitore. Il dispositivo risponde allo schema della fig. 384.

Invece di lunghezza d'onda in metri, si potrà parlare anche di frequenza, espressa per lo più in kilocicli (mille periodi) al secondo, o in miriacicli (diecimila periodi) al secondo. Ad es.: l'onda di 300 metri corrisponde alla frequenza 1000 kilocicli (o di 100 miriacicli) /sec. e cioè 1.000.000 di periodi al secondo (1).

343. - Misura della lunghezza d'onda in trasmissione. — Per accorgersi che la frequenza dell'ondametro è uguale a quella dell'emissione che si esamina, occorre ricordare quanto si é detto a proposito dei circuiti oscillanti accoppiati (nr. 201, 202 e 203). Avvicinando un circuito oscillante ad un altro

(1) In Germania è adottata la parola hertz invece di cicli al secondo, e quindi si dirà kilohertz e miriahertz in luogo di kilocicli al secondo e miriacicli al secondo. Per la corrispondenza tra frequenze e lunghezze d'onda, vedi la tabella in fondo al volume.

percorso da correnti oscillanti, si genera nel primo una corrente oscillante: però, affinchè nel secondo circuito si abbia la massima corrente, occorre che le frequenze dei due circuiti siano eguali, cioè che essi siano *accordati* od *in risonanza.* Quando i due circuiti non hanno eguale frequenza, si ha bensì una oscillazione nel circuito sottoposto all'azione del circuito eccitatore, ma essa è molto debole, e tanto più debole quanto più diverse sono le due frequenze.

Sull'ondametro accoppiato al circuito eccitatore che si vuole esaminare si varia gradatamente la capacità, in modo che la lunghezza d'onda varî essa pure gradatamente, avvicinandosi sempre più a quella del circuito eccitatore; in tali condizioni il circuito eccitatore creerà nell'ondametro delle correnti oscillanti di intensità crescente; cosicchè, quando la lunghezza d'onda dell'ondametro avrà

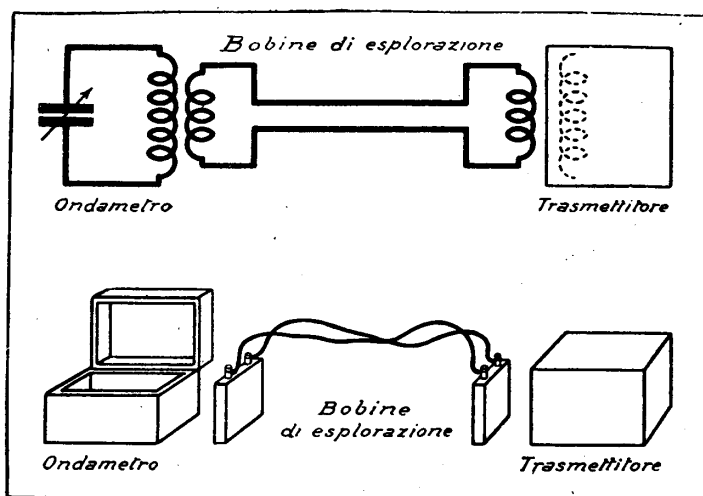



Fig. 384.

raggiunta quella del generatore, la corrente dell'ondametro raggiungerà il valore massimo; e comincerà subito a diminuire se, continuando a variare la lunghezza d'onda, comincerà ad allontanarsi da quella dell'eccitatore, sorpassandola.

Lo stesso massimo si ottiene se si parte con l'ondametro avente un'onda più lunga dell'eccitatore e se, facendola diminuire gradatamente, si ripassa per la posizione in cui le due onde sono eguali.

Si tratta ora di avere un mezzo per poter seguire l'andamento della corrente nel circuito dell'ondametro. Quando questo ci sia, basterà variare il condensatore dell'ondametro gradatamente, osservando contemporaneamente l'andamento della corrente e le successive graduazioni del condensatore; si fisserà maggiormente l'attenzione quando la corrente raggiunge il massimo e poi comincia a diminuire; si oltrepasserà successivamente due o tre volte, in un senso o nell'altro, ma di poco, la posizione del massimo, per assicurarsi che esso avviene sempre nella stessa posizione del condensatore; e sapendo che la frequenza del-

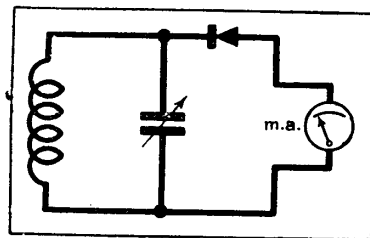
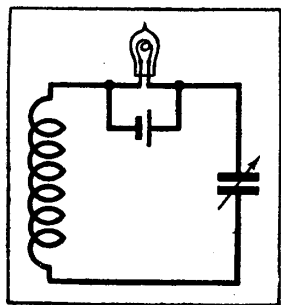
l'ondametro, per quella posizione, è eguale a quella dell'eccitatore, basterà leggere tale frequenza (o la lunghezza d'onda corrispondente), o direttamente o sulla apposita tabella, in corrispondenza della graduazione trovata. Si avrà così la frequenza o la lunghezza d'onda dell'eccitatore.

Per ottenere lo scopo, si può ad es.: derivare sulla capacità un circuito rivelatore comprendente un cristallino ed un telefono. Per quanto è già stato detto, le d. d. p. oscillanti alle armature del condensatore danno luogo a correnti nel circuito rivelatore, le quali, per la presenza del cristallino, sono raddrizzate, e possono azionare il telefono, se sono frazionate in treni di frequenza udibile. Questo avviene ad es.: nel caso in cui il trasmettitore che si considera sia ad onde smorzate. Si può allora impiegare il carborundum, anche senza potenziometro, poichè, potendosi variare l'accoppiamento fra ondametro e circuito trasmittente, si può far sì che l'ampiezza delle oscillazioni alle armature del condensatore sia tale da interessare anche la parte ripida della caratteristica del cristallino, pur non trovandosi esso a funzionare al gomito della curva.

Fig. 385.

Nel caso che l'emissione da esaminare sia ad onde persistenti, la rivelazione con il cristallino raddrizzatore non dà alcuna indicazione utile, mancando la tonalità udibile che rivela all'orecchio la corrente oscillante, ed allora si può sostituire al telefono un microampermetro, che misuri la corrente raddrizzata (fig. 385). Nel caso che questa sia troppo piccola, si può sostituire al cristallino ed al telefono una lampadina elettrica da 2 a 4 volta, mantenuta accesa al calor rosso da una pila a secco (fig. 386). Data la piccola resistenza della lampadina, questa va messa in serie nel circuito oscillante dell'ondametro, e non in derivazione sul condensatore, perchè aumenterebbe molto lo smorzamento del circuito. Quando, variando la capacità, si passa per la posizione di accordo, l' incandescenza della lampadina aumenta bruscamente fino a raggiungere anche il bianco splendente, per effetto della corrente oscillante che si aggiunge a quella continua di alimentazione.

Fig. 386.

L'ondametro a lampadina può naturalmente impiegarsi anche per le onde smorzate, e può impiegarsi anche senza accensione preventiva, se si impiegano apposite lampadine, a minimo consumo (2 volt, 60 mA.).

344. - Misura delle lunghezze d' onda in ricezione - Ondametro a cicala. — Questo ondametro comprende un circuito oscillante come nell'onda-

metro precedente, con un dispositivo per rendere generatore il circuito, ossia per far sì che l'apparecchio, anzichè ricevente, sia trasmittente. Il circuito dell'ondametro a cicala comprende una batteria di pile B ed un interruttore S, derivati alle armature del condensatore (fig. 387). Quando si chiude l' interruttore S, la induttttanza L viene percorsa da una corrente, che genera in essa un campo magnetico. Quando l' interruttore si apre, tale corrente viene bruscamente interrotta; la conseguente sparizione del campo magnetico produce una f. e. m. di autoinduzione, e questa carica le armature del condensatore ad un potenziale che, dipendendo dalla rapidità della interruzione (nr. 63), può essere molto superiore a quello della pila B. Subito dopo, essendo interrotto il circuito di alimentazione, comincia la scarica del condensatore attraverso all' induttanza L, con una corrente che è oscillante e di debole smorzamento (perchè la resistenza del circuito è piccola). La sua lunghezza d' onda sarà determinata dai valori della capacità e della induttanza; e, poichè questa è fissa, l'onda resterà determinata dal valore della capacità variabile. Con una batteria di 2-3 volta si ottiene un' onda sufficientemente energica per impressionare un apparecchio di ricezione, anche ad un metro e più di distanza.

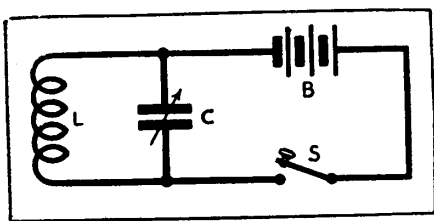



Fig. 387.

L'apparecchio così sarebbe però incompleto, poichè, data la bassa frequenza delle interruzioni di S, si avrebbero dei colpi troppo radi nel telefono ricevitore. Occorrendo invece avere un suono, si dovranno produrre molte interruzioni, che si susseguano rapidamente, mediante un dispositivo che apra e chiuda il circuito d' alimentazione con molta rapidità, e ciò per tutto il tempo occorrente per l' operazione di sintonizzazione. Un tale dispositivo è indicato alla fig. 388, dove una seconda batteria B' fa funzionare un piccolo vibratore elettromagnetico (o cicala), analogo a quello descritto nei rocchetti d' induzione (nr. 77), e comunemente usato nei campanelli elettrici. Alla parte vibrante V è connesso il contatto S, il quale viene così chiuso ed aperto ad ogni vibrazione della laminetta V. La seconda pila B' si può facilmente eliminare usando il collegamento della fig. 389, con il quale la corrente che percorre la induttanza L è quella stessa che alimenta gli avvolgimenti del vibratore. In questo caso però, oltre alla energia della induttanza L, entra in giuoco anche quella del campo magnetico degli avvolgimenti, che è molto più grande.

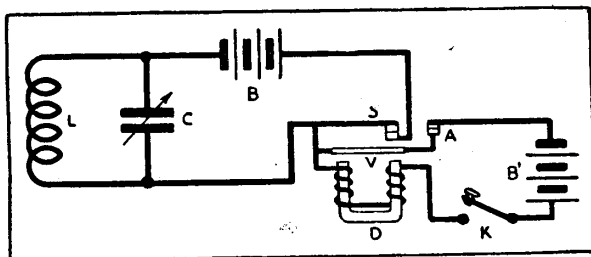
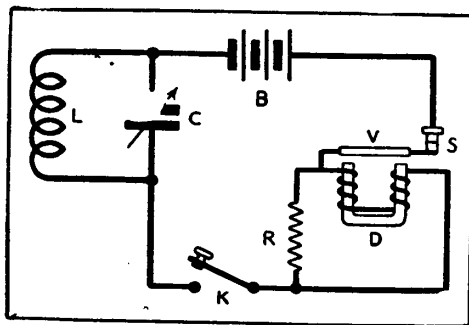



Fig. 388.

Ne deriva che, se non si provvede in qualche modo, ad ogni interruzione in S si avrebbe una forte scintilla dovuta alla f. e. m. generata nella sparizione del campo magnetico (nr. 63). Questa scintilla, oltre a consumare rapidamente i contatti in S, sarebbe poi dannosa, perchè offrirebbe un passaggio poco resistente per l'energia dell' induttanza L, che così caricherebbe di meno il condensatore. Per abolire tale scintilla, il miglior modo consiste nel disporre una forte resistenza R derivata agli estremi degli avvolgimenti, nella quale resistenza si consumerà la suddetta f. e. m. di autoinduzione, evitando così la scintilla e la conseguente usura dei contatti.

Per misurare la lunghezza di un' onda ricevuta, si dovrà prima sintonizzare bene su quest'onda l'apparato ricevitore e quindi, fatta sospendere la trasmissione lontana, azionare l'ondametro avvicinato allo stesso ricevitore, e, senza più toccare questo, variare l' onda dell' ondametro, fino ad avere la massima ricezione; allora il ricevitore risulta accordato con l'onda dell'ondametro e con quella della trasmissione lontana; di conseguenza queste due risultano eguali tra loro.

Fig. 389.

L' ondametro a cicala si può completare derivando sulle stesse armature del condensatore il circuito rivelatore (a cristallino), di cui si é detto al numero precedente. Con un commutatore si può attaccare, sul condensatore, o il circuito ricevente o di quello trasmittente e lo strumento serve così sia per ricevere (misura di lunghezza d'onda in trasmissione), sia per trasmettere (misura dell'onda ricevuta, o taratura dei ricevitori).

345. - Ondametro per assorbimento. — Un metodo molto delicato per misurare un' onda sia di trasmissione che di ricezione, specialmente negli apparati a valvola, consiste nell' impiego di un semplice circuito oscillante accuratamente tarato, che si avvicina all' apparato trasmittente o a quello ricevente, se questo è innescato. Quando il circuito oscillante dell' ondametro é esattamente accordato, si verifica un forte assorbimento di energia da parte di questo, assorbimento che si può manifestare con variazioni sia sulla corrente d' aereo, se si tratta di un circuito emittente, sia su quella anodica, se si tratta di un trasmettitore a valvola o di un ricevitore a valvola innescato. Su di questo l'ondametro accordato può anche provocare il disinnesco. Variando il condensatore del circuito oscillante dell' ondametro in vicinanza dell' apparato sotto misura, basterà notare la graduazione dell'ondametro per quel punto in cui si verificano i fenomeni anzidetti, per dedurne l'eguaglianza fra l'onda dell'ondametro e quella del circuito in esame. Questo metodo, impiegando circuiti oscillanti semplici,

senza alcun apparato collegato, è il più consigliabile, perchè evita ogni causa di perdita di energia nel circuito oscillante, il quale si può fare inoltre con apparati a minime perdite; di conseguenza il decremento dell'ondametro diventa molto piccolo, la curva di risonanza diventa molto acuta, e la misura molto precisa.

346. - Misure di precisione di lunghezza d'onda. — Gli ondametri finora descritti possono avere una precisione massima del mezzo per cento circa, il che si può ritenere sufficente per la maggior parte dei casi pratici. Per ottenere una maggiore precisione, quale occorre nelle misure di laboratorio e. in casi speciali per controllo, si deve ricorrere ad impianti speciali, fondati di solito sui metodi di moltiplicazione o di demoltiplicazione di frequenza, e di paragone con una sorgente di bassa frequenza, accuratamente controllata mediante registrazione delle oscillazioni, e successivo confronto con quelle dei pendoli astronomici di altissima precisione. Si può ad esempio partire da un diapason che dia circa 1000 periodi al secondo (oppure da lamine di quarzo di frequenze molto più alte), e di cui sia mantenuta costante la temperatura con appositi *termostati*, in modo da eliminare le variazioni di temperatura che sono la causa principale di variazione della frequenza. Le oscillazioni armoniche del diapason o del quarzo si paragonano poi, col metodo dei battimenti, con la oscillazione fondamentale di una eterodina, di cui si può in tal modo controllare vari punti di taratura, corrispondenti alle varie armoniche suddette. Oppure con metodi di demoltiplicazione di frequenza, di cui non è qui possibile dare cenno, si possono paragonare le frequenze sottomultiple della eterodina con quella fondamentale del diapason o del quarzo.

Questi metodi, alquanto laboriosi, sono possibili solo nei grandi laboratori, e molti sono quelli escogitati ed attuati nei vari Paesi. In Italia gli Istituti R. T. della R. Marina, delle Poste e Telegrafi e del R. Esercito sono attrezzati per tali misure, che ricevono maggiore autorità pel fatto che sono spesso controllate in confronti internazionali con gli Istituti analoghi degli altri Paesi.

CAPITOLO XXVI.

Valvole e apparecchi a valvola.

347. - DIVERSI TIPI DI VALVOLE. — Si potrebbero elencare moltissimi tipi differenti di valvole costruite dalle diverse ditte; si segnalano quelle della Compagnia Marconi, essendo tale indicazione sufficiente per dare idea dei vari tipi.

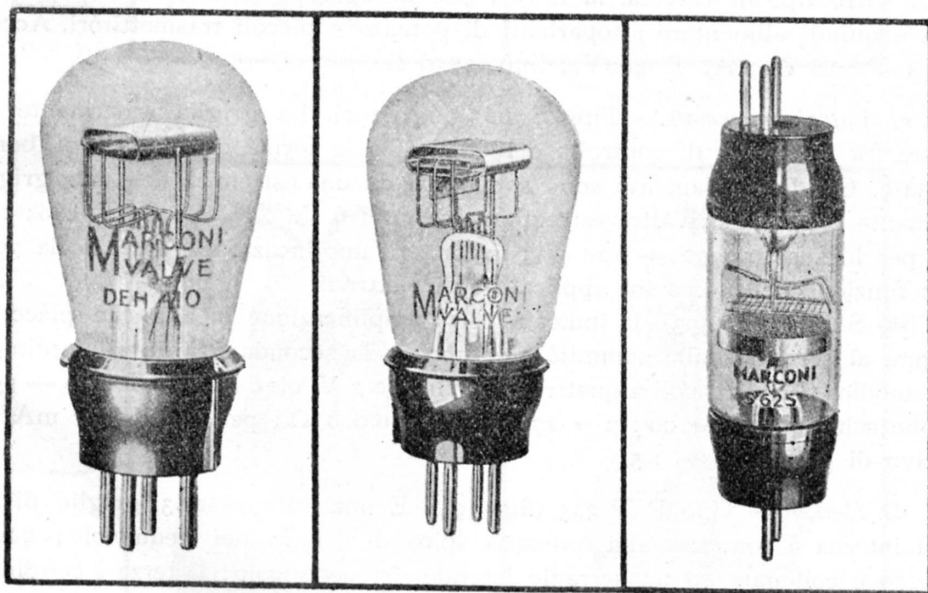



Fig. 390. Fig. 391. Fig. 392.

a) Valvole per tutti gli usi. - Tipo D E L (fig. 390). Esistono tre varietà di tale valvola: la 210, la 410, la 610. La valvola D E L 210 si accende con 2 volta, 0.1 amp; tensione anodica 150 V.; cost. di ampl. 11; impedenza 12000 Ω; pendenza 9 mA/V. La D E L 410 si accende con 4 volta 0,1 amp.; A. T. 150 V.; impedenza 8500 Ω; pendenza 1,76 mA/V. La D E L 610 si

accende con 6 V., 0,1 amp.; A. T. 130 V.; μ = 15; impedenza 7500 Ω; pendenza 2 mA/V.

Queste valvole possono impiegarsi come amplificatrici ad a. f. nei circuiti provvisti di stabilizzazione, o di smorzamento; come rivelatrici, e come amplificatrici a b. f. con trasformatori, salvo per lo stadio di potenza.

b) Valvole amplificatrici di potenza - tipo D E P (fig. 391) (215, 240, 610). La valvola D E P 215 ha le seguenti caratteristiche: accensione V. 2,0, A. 0.15; A. T. 150 V.; μ = 7; imp: 5000 Ω; pendenza 1.4 mA/V. Con tensioni negative di griglia variabili da 75 a 150 V, si hanno correnti di placca variabili da mA. 4.5 a 8.5.

La D E P 240 ha l' accensione a 2.0 V., 0.4 amp; A. T. 150 V; μ = 4: imp. 2400 Ω; pendenza 1.6 mA/V. Con tensioni anodiche da 100 a 150 V. e negativo di griglia da 16 a 24 V, la corrente anodica è da 11 a 17 mA.

La D E P 610 ha accensione a 6 V., 0.1 amp; A. T. 150 V.; μ = 8; imp: 3500 Ω; pendenza 2.[illegible] mA/V. Con tensioni anodiche da 50 a 150 V. e negativo di griglia da 4.6 a [illegible] V. la corrente anodica va da 2.5 a 9 mA.

Un altro tipo di valvola, la L S 5 può dissipare 13.5 watt sul circuito di placca e quindi alimentare altoparlanti di potenza e piccoli trasmettitori. Accensione 5 V, 0.8 A.; A. T. 400V.; imp. 2750 Ω.

c) Valvole schermate. - Tipo S 625 (fig. 392). La griglia schermante interposta fra la griglia di controllo e l' anodo, ha la forma di un disco a bordo risvoltato. Griglia e filamento sono sopportati da una estremità del tubo, griglia schermante e placca dall'altra estremità. Accens.: 6 V., 0,25 A; A. T. 180; tensione per lo schermo 50 ÷ 120 V.; fattore di amplificazione variabile da 30 a 50, in funzione delle tensioni applicate agli elettrodi.

Tipo S 215 (fig. 393). È indicata per l' amplificazione in alta. La placca é collegata al serrafilo sulla sommità del tubo; e la seconda griglia alla ordinaria spina anodica dei peduncoli a quattro. Accensione 2 V. 0,15 A.; A. T. 100 ÷ 150; tensione schermo 60 ÷ 90; μ = 170; imp. 200.000 Ω; pendenza 0.85 mA/V; negativo di griglia 0 ÷ 1.5.

d) Pentodi. - Tipo P T 235 (fig. 394). È una valvola a 3 griglie di cui la più interna è connessa alla ordinaria spina di griglia del peduncolo; quella di mezzo è collegata ad un serrafilo laterale del peduncolo; la terza è congiunta al filamento nell' interno dal bulbo. Serve per amplificazioni a b. f.; accensione 2 V., 0.35 A.; A. T. 170 ÷ 150 V.; tensione di schermo 100 ÷ 150.; negativo di griglia 6 ÷ 9 V.; corrente anodica 9 ÷ 16 mA.; μ = 90; imp. 55000 Ω; pendenza 1,65 mA/V.

e) Valvole di trasmissione. - Tipo T 50 (fig. 395) Dissipa 50 W. all'anodo con tensione massima di 1500 V., accensione 7 V., 2.5 A; imp.: 35000 Ω.

Tipo T 250 (fig. 396). Dissipa 250 W. all' anodo con tensione massima 4000 V; acc. 12.6 V, 5.5 A; imp. 1700.

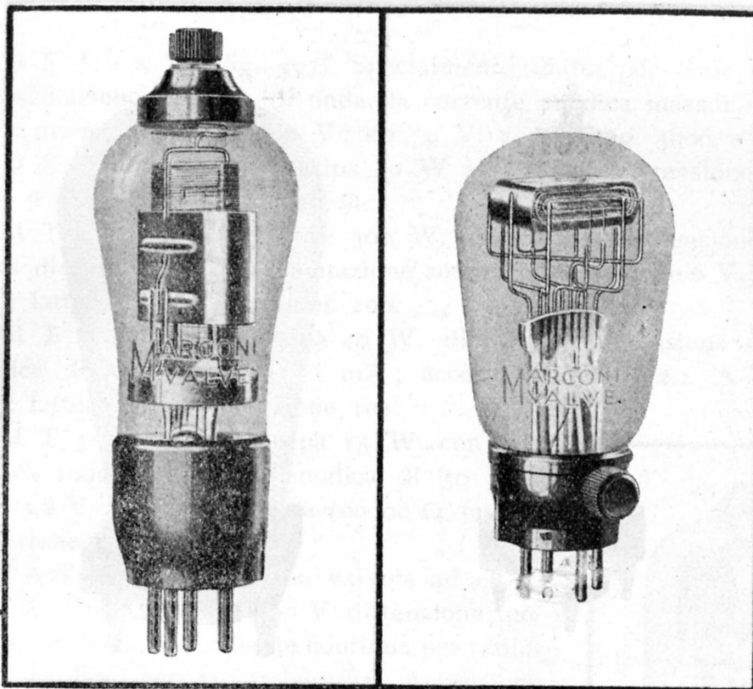



Fig. 393. Fig. 394.

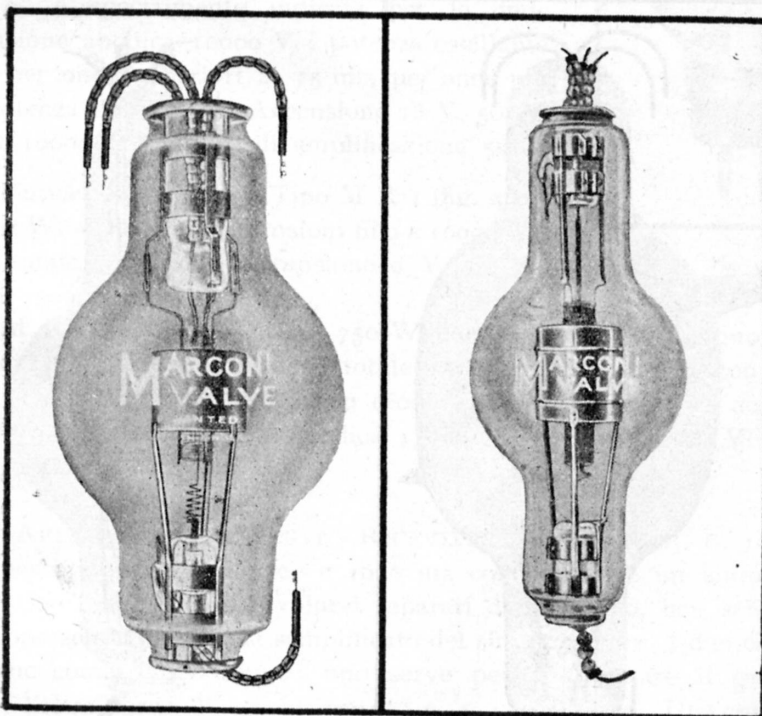



Fig. 395. Fig. 396.

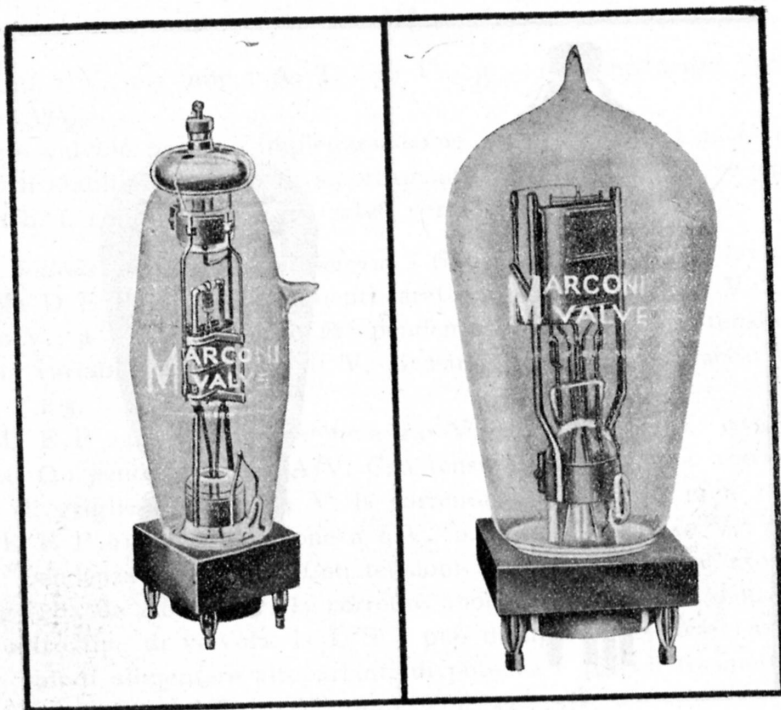



Fig. 397.

Fig. 398.

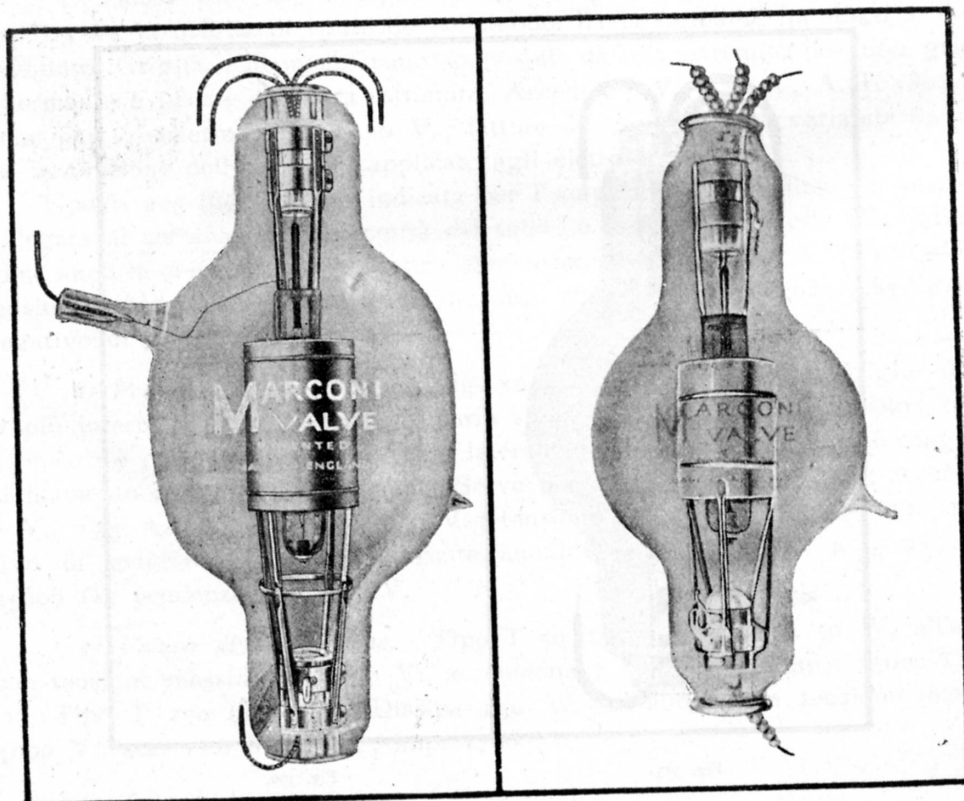



Fig. 399.

Fig. 400.

Tipo D E T 1 s W. (fig. 397). Specialmente adatta per onde corte fino a 10 m. In oscillazione a 15 m. di onda, la corrente anodica massima è di 80 mA a 800 V.; a 10 m. 80 mA a 600 V; acc. 6 V. 2 A.; imp. 5000.

Tipo D E T 1 (fig. 398). Dissipa 40 W all'anodo, con tensione di 1000 V. Accensione 6 V; 1 A; imp: 6000 Ω.

Tipo M T 2 (fig. 399). Dissipa 300 W. all'anodo, con tensione 10000 V. Corrente anodica normale di alimentazione 200 mA; accensione 6 V.; impedenza 100.000 Ω; fattore di amplificazione 200.

Tipo M T 3 (fig. 400). Dissipa 40 W. all'anodo, con tensione 1500 V. Corrente anodica di alimentazione 50 mA; accensione 6 V., 2.2 A; impedenza 300.000 Ω; fattore di amplificazione 100.

Tipo M T 5 (fig. 401). Dissipa 15 W. con tensione anodica 1000 V corrente anodica di 30 mA. Accensione 5,8 V 2 A.; impedenza 100000 Ω, fattore di amplificazione 40.

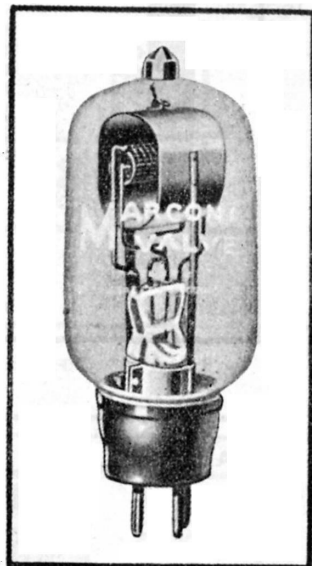
Fig. 401.

Tipo C A T 1 (fig. 402). È una valvola ad anodo raffreddato, che fornisce con 10000 V. di tensione anodica 10 Kw. di potenza oscillante continua per radiotelefonia o 15 Kw per radiotelegrafia. Accensione filamento 18 V. 50 A.; impedenza 15000 Ω; $\mu = 75$.

Tipo C A T 2 (fig. 403). È pure ad anodo raffreddato, ed è specialmente indicata per le onde corte. Tensione anodica 10000 V.; potenza oscillante 12,5 Kw. per onde superiori ai 25 m.; per onde più corte là potenza diminuisce. Accensione 18 V. 50 A. Impedenza 10000 Ω; fattore di amplificazione 50.

f) Valvole rettificatrici. - Tipo M R 1 (fig. 404). Dissipa 200 W. all'anodo, con tensioni fino a 10000 V., emissione totale 350 mA. Accensione 9 V. 5,8 A. Impedenza 1500 Ω.

Tipo M R 9 (fig. 405). Dissipa 750 W, con tensioni anodiche fino a 10000 V. Accensione 14 V. 24 A. Emissione totale 1500 mA. Impedenza 500 Ω.

Tipo C. A. R. 2 (fig. 406). È un diodo a raffreddamento ad acqua. Emissione totale 3 – 8 A. Tensione anodica 15000 V. Accensione 20 V. 50 A. Impedenza 150 Ω.

348. - Apparecchi riceventi - Ricevitore Marconi r. g. 19. — È un ricevitore per onde medie (da 300 e 1000 m). comprendente un sintonizzatore e un amplificatore, ciascuno in involucri separati di lamierino, ben schermati. La fig. 407 rappresenta lo schema semplificato del sintonizzatore. I due condensatori d'aereo sono comandati insieme; uno serve per sintonizzare il gruppo delle induttanze; l'altro serve di accoppiamento e. s. con l'aereo. Una resistenza di dispersione è derivata su questo secondo condensatore, per evitare la forma-

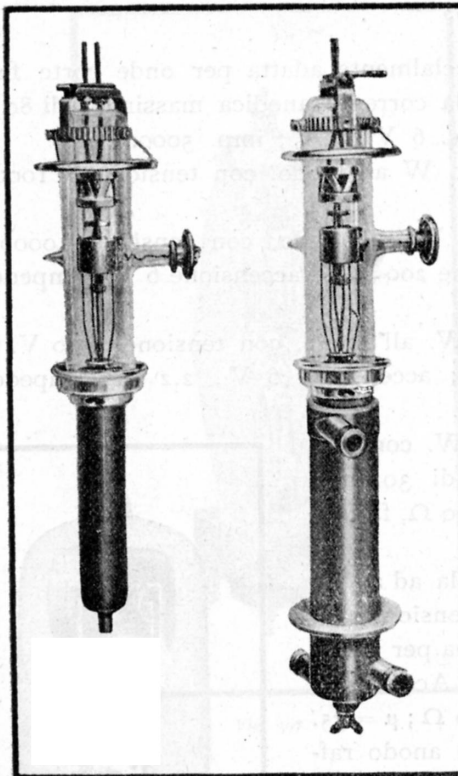
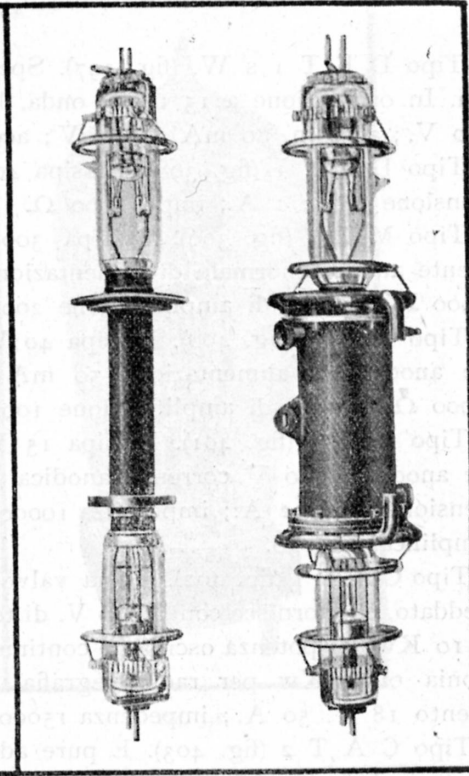



Fig. 402. Fig. 403.

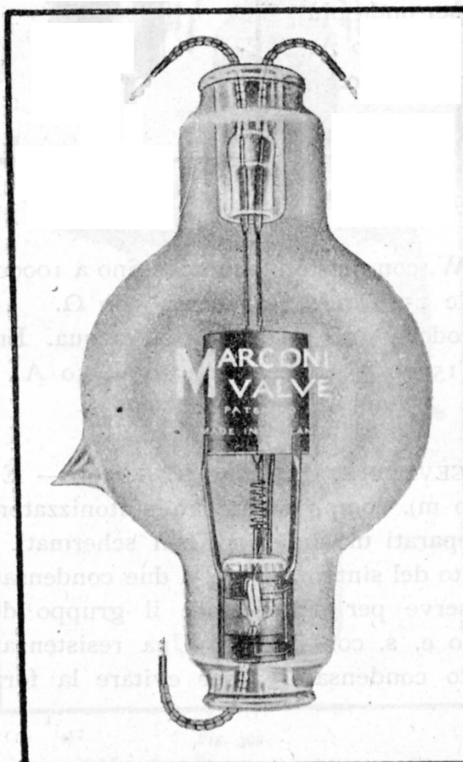
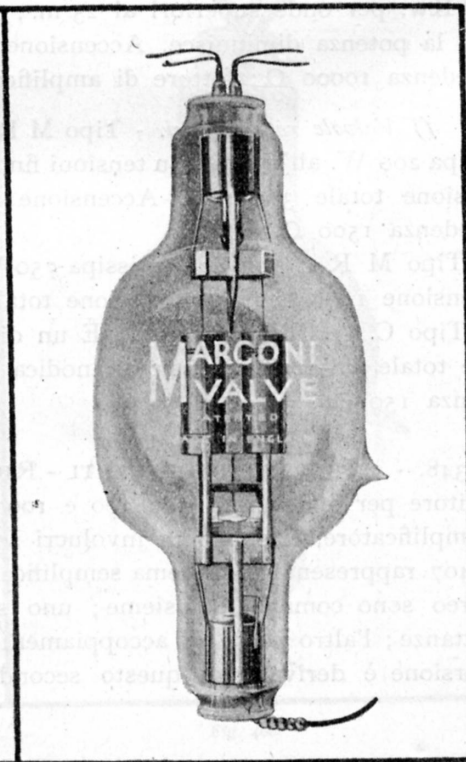



Fig. 404. Fig. 405.

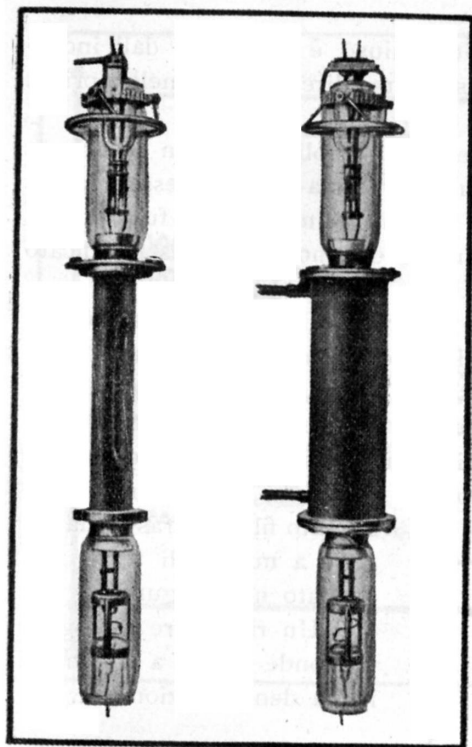



Fig. 406.

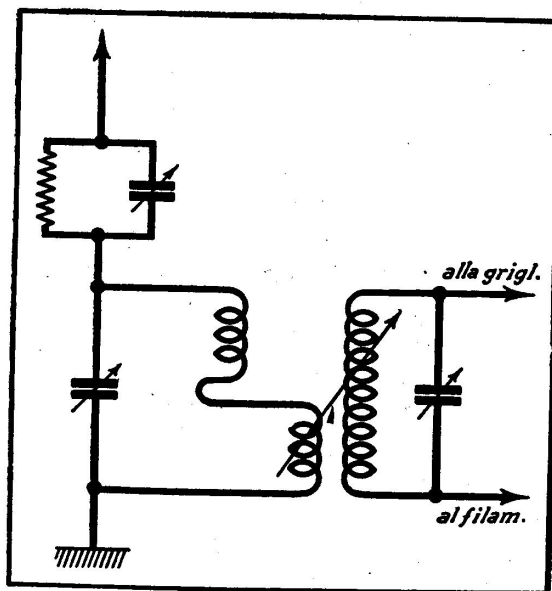



Fig. 407.

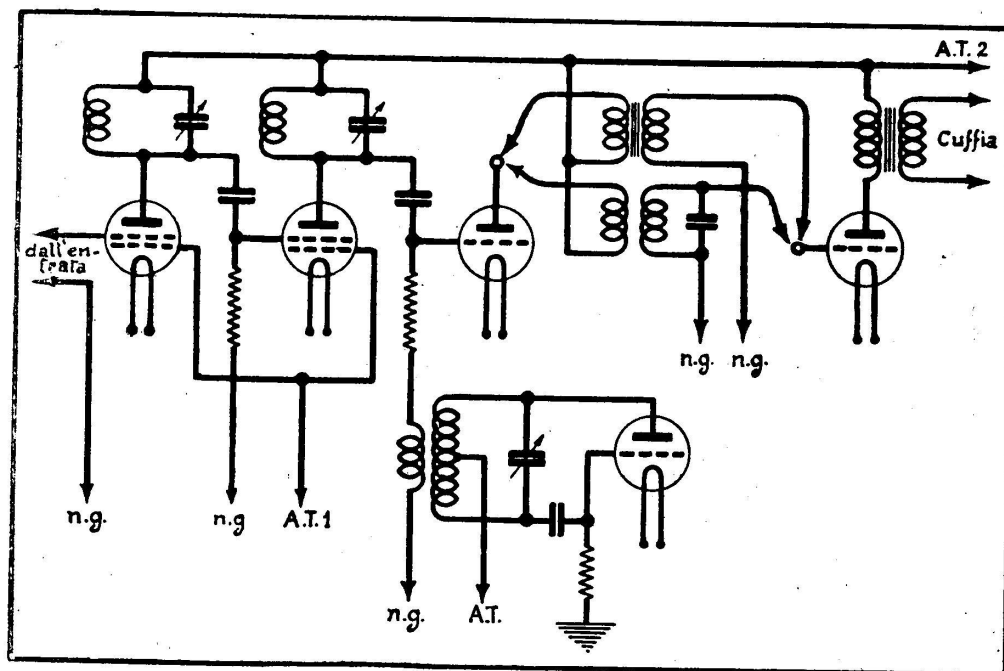



Fig. 408.

zione di cariche statiche sull' aereo. Il circuito chiuso è costituito dall' induttanza e dal condensatore; da questo circuito si entra direttamente nella prima valvola del complesso amplificatore.

Quest' ultimo comprende due valvole schermate, amplificatrici in alta, una rivelatrice a condensatore di griglia, e una quarta valvola che può essere usata come filtro di nota o come amplificatrice a b. f. Una quinta valvola funziona da eterodina per la ricezione delle o. p. La figura 408 dà uno schema semplificato del circuito.

L' amplificazione a. f. è a circuiti anodici accordati. Il filtro di nota consiste in un circuito sintonizzato a mezzo di un condensatore fisso, sulla frequenza 1200 e disposto sul secondario (griglia) del trasformatore d'ingresso della quarta valvola. Ciò contribuisce alla selettività, perchè attenua le frequenze acustiche diverse da 1200 per/sec., le quali potrebbero provenire dai battimenti di onde anche poco diverse da quelle da ricevere. La fig. 409 dà lo schema particolare di tale circuito filtro (i trasformatori sono a nucleo di ferro non segnato nella figura).

Fig. 409.

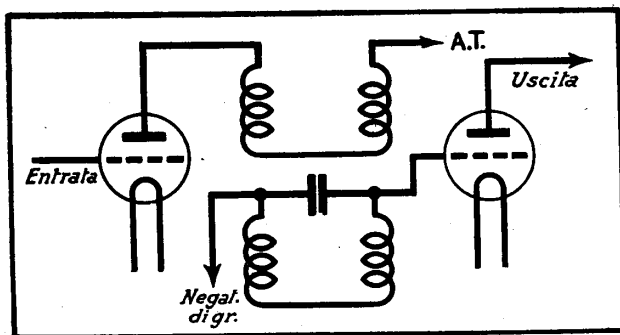
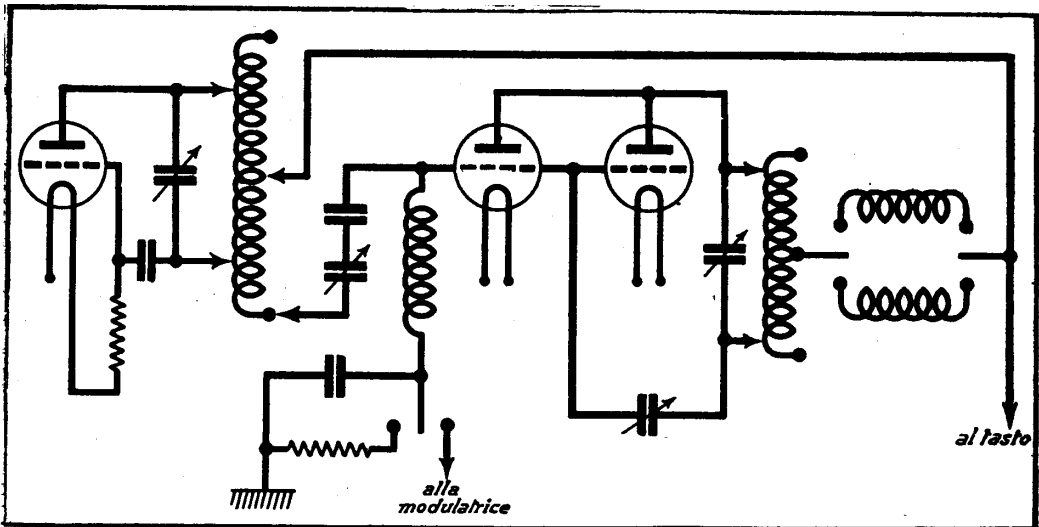
Un ricevitore analogo è per onde da 150 a 800 m. ed ha la denominazione R. 18.

349. - Ricevitore Marconi S A I. — È una forma modificata di circuito a superreazione, che riunisce una notevole amplificazione ad una grande stabilità, con una regolazione semplice, ed una ottima selettività. Comprende tre valvole; la prima funziona in rivelatrice endodina, la seconda come eterodina per la frequenza ultraudibile, la terza come amplificatrice (schema fig. 410). Il segnale giunge sulla griglia della rivelatrice dalla bobina in serie sull'aereo. La rivelatrice funziona anche da oscillatrice endodina del tipo Hartley, cioè con bobina di placca e di griglia con centro al filamento, attraverso ad un condensatore di blocco per l'alta tensione. L'accoppiamento fra le due bobine è appena al disotto del valore che fa innescare le oscillazioni alla tensione anodica normale, ed il circuito di griglia di detta valvola è sintonizzato col condensatore variabile di sintonia. La eterodina è a reazione di griglia con circuito regolato a circa 20000 periodi sec.; e l'alimentazione di placca della rivelatrice è fatta in parallelo sulla placca dell'oscillatrice, attraverso una bobina che è accoppiata con la bobina della eterodina. Quando l'eterodina induce sulla bobina della rivelatrice una f. e. m. variabile, la tensione anodica di tale valvola viene modificata ad una frequenza ultraudibile, ciò che porta la rivelatrice a iniziare e a spegnere le oscillazioni (endodina) alla frequenza di 20000 periodi al sec. Si ottiene in tal modo (vedi superreazione,

Fig. 410.

nr. 300) una grande amplificazione, senza distorsione, poichè i periodi di tempo in cui la rivelatrice è instabile sono a frequenza troppo elevata perchè siano

Fig. 411.

udibili. Il segnale rivelato è poi amplificato con uno stadio a bassa, a trasformatore a nucleo di ferro, prima di arrivare al trasformatore telefonico di uscita.

350. - Apparecchi trasmittenti - Trasmettitore a onda corta N 7. — È un complesso per onde da 16 a 135 m., per trasmissione sia telegrafica in o. p. o modulate, sia telefonica. Comprende il pilota, l'amplificatore, il modulatore. L' alimentazione è di 200 watt all' anodo del pilota, di 500 watt agli anodi dei triodi amplificatori. La potenza media sull' aereo è di 250 watt.

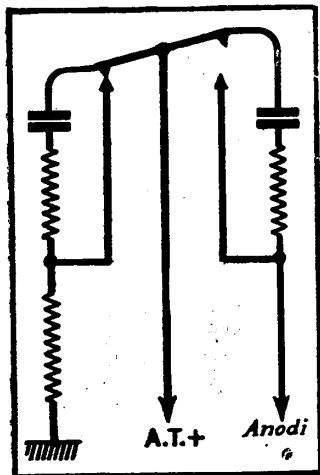



Fig. 412.

L'oscillatore pilota comprende una valvola M T 2, e comanda l'amplificatore che è costituito da due valvole M T 12 in parallelo. L'aereo è accoppiato al circuito di uscita dell'amplificatore. Per la modulazione telefonica è impiegata una valvola L S 5 con modulazione di griglia.

Per alimentare il complesso si impiega un generatore che dà 2500 volta per la placca e 16 volta e 6 volta per l'accensione dei filamenti e per il funzionamento dei relai.

La fig. 411 rappresenta uno schema semplificato del pilota e dell'amplificatore. Il pilota è un comune oscillatore Hartley con prese variabili per la placca e per la griglia sull' induttanza, e con un condensatore variabile di accordo. Dalla stessa induttanza è derivata l'eccitazione di griglia per le valvole amplificatrici, attraverso a due condensatori, uno variabile e uno fisso, il primo dei quali fornisce un controllo accurato del potenziale oscillante applicato alla griglia delle amplificatrici, specie nel caso delle onde più corte.

Fig. 413.

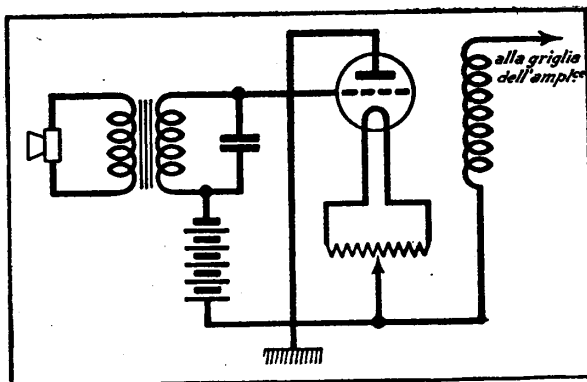
L' amplificatore ha sugli anodi un circuito oscillante sintonizzato, alimentato al centro dell' induttanza attraverso a due impedenze ad aria, una per onde inferiori e l'altra per onde superiori ai 60 m. Un condensatore variabile permette la sintonizzazione del circuito, che può essere fatta anche spostando le prese variabili sull' induttanza.

La manipolazione è fatta sull' alta tensione, che viene inserita sugli anodi (tasto abbassato), oppure su un'alta resistenza messa a terra (tasto alzato) (fig. 412), e questo allo scopo di equilibrare il carico della macchina generatrice dell'alta tensione. Condensatori e resistenze in parallelo sui contatti del tasto eliminano, per quanto è possibile, le scintille dell'estracorrente di rottura.

Fig. 414.

Fig. 415.

La modulazione è ottenuta col sistema Schaffer (nr. 323), cioè variando la caduta di tensione sulla griglia delle valvole amplificatrici mediante l'applicazione del trasformatore di modulazione sulla griglia della valvola modulatrice. Questa valvola ha il filamento collegato alla griglia delle amplificatrici e la placca alla terra, per dare il passaggio alle correnti di griglia delle amplificatrici. La fig. 413 dà lo schema del circuito.

351. - Complesso trasmittente e ricevente. Stazione Marconi X M C 2. — Può funzionare in telefonia e in telegrafia, sia ad o. p. che ad o. m., su onde da 150 a 450 m. L' energia è fornita da un generatore che dà l' alta tensione (2500 V.) per le placche e la b. t. per i filamenti; munito di due regolatori dell'eccitazione, uno per l' a. t., l' altro per la b. t.

Lo schema della parte trasmittente è dato dalla fig. 414. Esso comprende due valvole M T 12 A, una oscillatrice e una modulatrice con il sistema a impedenza di parola. La valvola oscillatrice a reazione di griglia ha il circuito oscillante chiuso sull' anodo, regolabile sia con il condensatore variabile, (nella

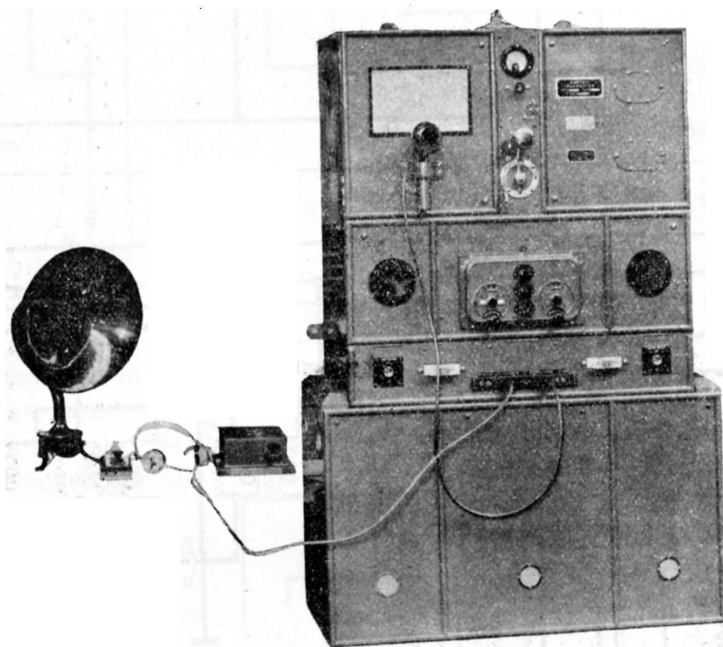



Fig. 416.

figura è segnato come fisso), sia a mezzo di induttanza a prese variabili e disposta a variometro. Su una parte dell' induttanza di tale circuito è accoppiato l' aereo. La bobina di reazione di griglia è shuntata da un condensatore, ed ha un capo alla griglia, l' altro, attraverso ad una resistenza al negativo di filamento. Il tasto per la manipolazione serve a collegare o staccare da terra il negativo della reazione.

Il ricevitore (150 ÷ 600 m.) ha una valvola schermata in a. f., una rivelatrice per caratteristica di griglia con reazione di placca, regolabile con condensatore, due o tre amplificatrici a b. f. (fig. 415). L'aereo è accoppiato al circuito d' ingresso o direttamente o attraverso tre condensatori fissi, a seconda lo sviluppo dell' aereo stesso. L' a. f. è a circuito sintonizzato con condensatore varia-

bile sulla griglia della rivelatrice, e con primario sulla placca della schermata; l' accordo dei circuiti di griglia della prima e della seconda valvola si ottiene con un' unica manovra, perchè i due condensatori relativi sono collegati tra loro meccanicamente. Trattandosi di valvole schermate, non occorre neutralizzazione.

Le fig. 416 e 417 danno idea del complesso, a cassette chiuse e aperte.

352. - RADIOGONIOMETRO MARCONI D F M 4. — Impiega l' aereo Marconi Bellini Tosi, disposto a due quadri fissi ortogonali, su un piedistallo a candeliere,

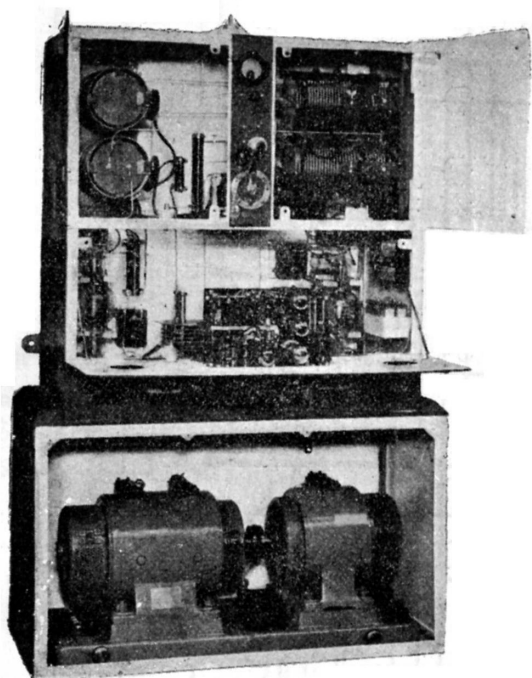



Fig. 417.

Fig. 418.

chiusi in una protezione metallica (fig. 418). Per la determinazione del senso impiega un piccolo aereo verticale, non schermato. I due quadri sono di dimensioni leggermente diverse per necessità costruttive; uno di essi deve essere orientato esattamente S N, oppure secondo l'asse del veicolo (per impianti su aeromobili) o della nave (per impianto su battelli). La protezione metallica dei quadri (vedi nr. 313) è costituita da tubi di rame che sono saldati fra di loro ad uno dei punti d' incontro, e messi a terra ed interrotti all' altro punto di giunzione. I capi dei due avvolgimenti sono accuratamente isolati dal rivestimento e dal

Cuffia
A.T. +
B.T. +
Gr. –
Com. –
Amplif. di nota
Rivel. endodina
A.T. + griglia schermo
Amplificatrici A.F.
Valvola di accoppiamento del-l'aereo verticale
Senso
Aereo verticale
Bobina di ricerca
E
S
N
O

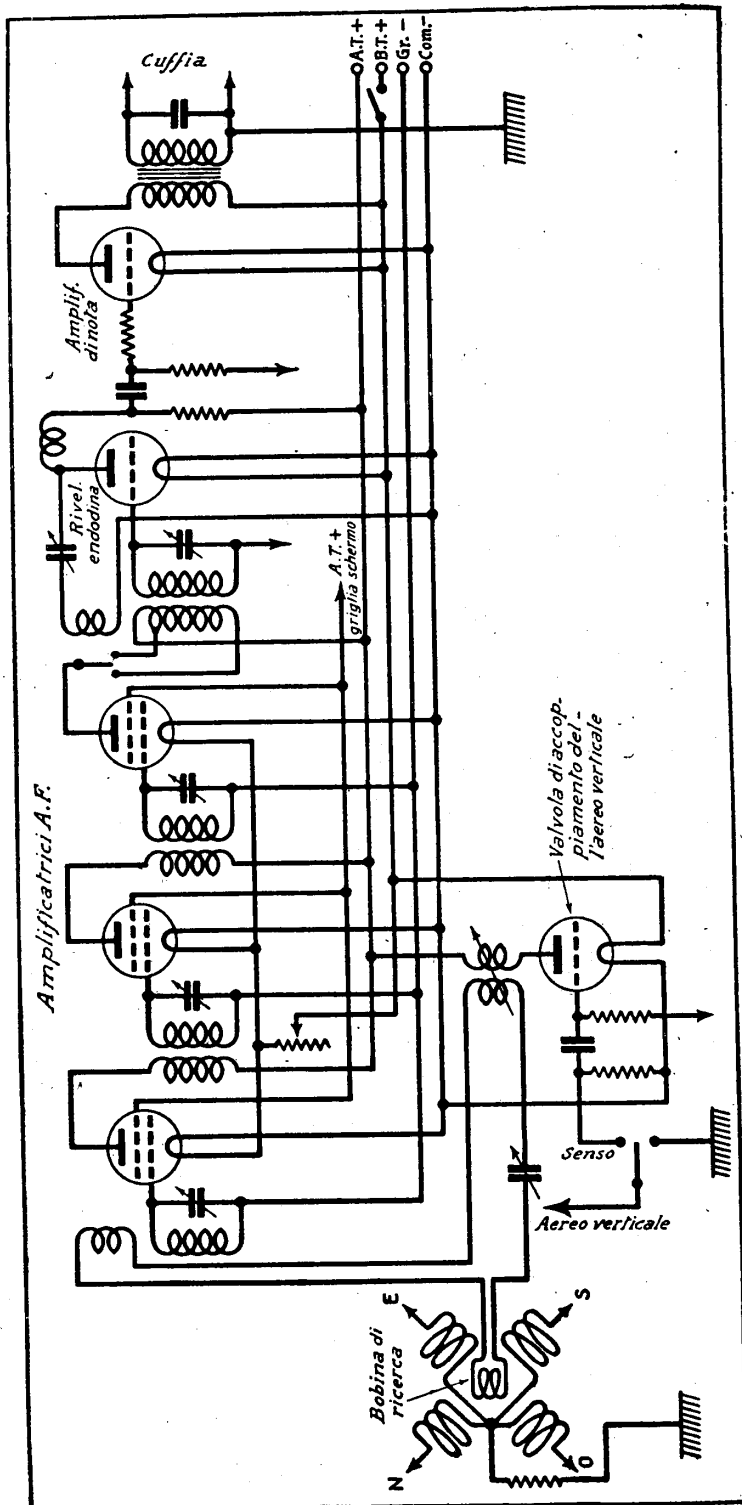



Fig. 419.

piedistallo, e ciascuno dei quadri è costituito da 4 spire di conduttore ad alto isolamento in gomma. Una scatola di giunzione permette di collegare i capi al radiogoniometro.

Questo comprende le due coppie di bobine di campo, ortogonali fra loro, e la bobina esploratrice, ed è chiuso in un involucro di lamierino di rame, prov-

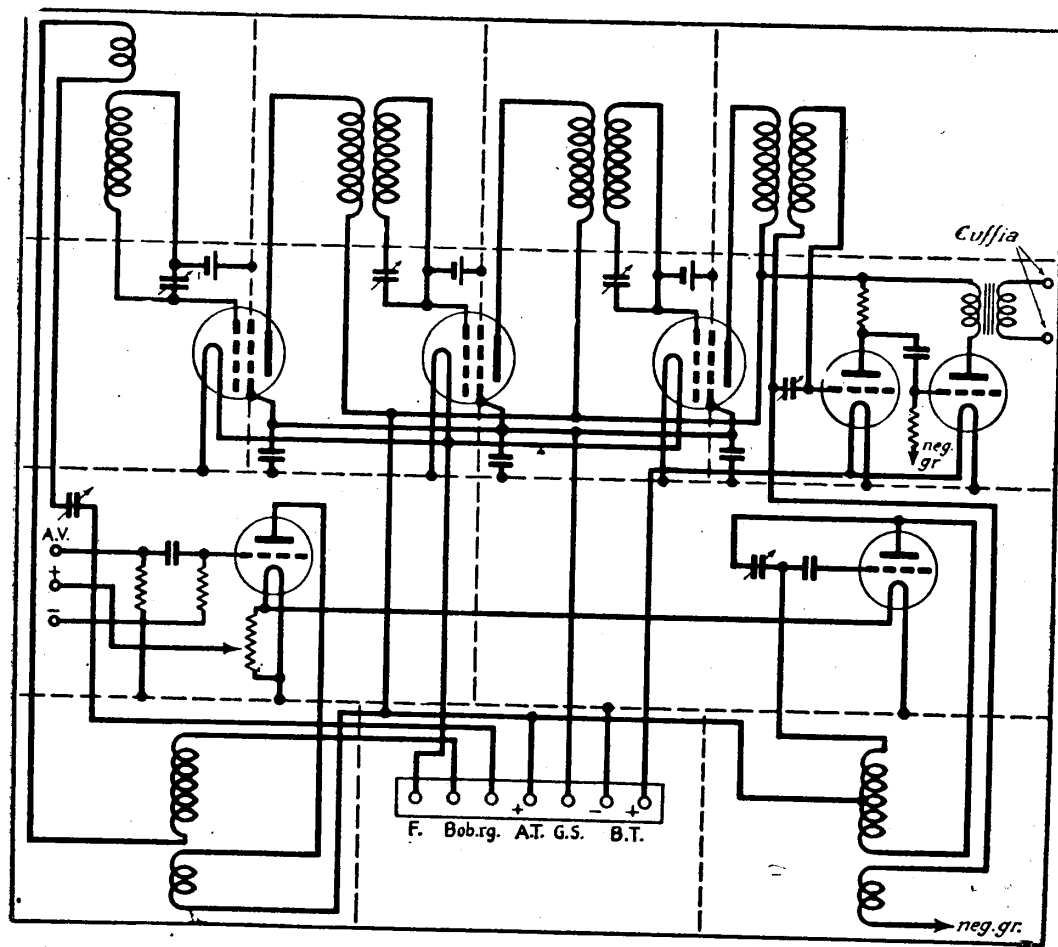



Fig. 420.

visto del cerchio graduato da 0^0 a 360^0 e della manopola di rotazione dell' esploratore, munita di indici ad angolo retto fra di loro per la rapida lettura del rilevamento. Il centro delle bobine esploratrici è messo a terra. Dal rg. si passa al ricevitore, che ha tre stadi di amplificazione ad a. f. a valvole schermate (fig. 419), una rivelatrice endodina a caratteristica anodica, ed una amplificatrice a bassa. (In una variante (fig. 420) si ha invece della rivelatrice endodina, una oscillatrice eterodina, per la ricezione di o. p.).

In particolare la bobina esploratrice è collegata in serie con due bobine di accoppiamento: una con il circuito anodico di una sesta valvola eccitata dall'aereo verticale; l'altra con il circuito di griglia della prima valvola amplificatrice ad alta. L'impiego di una valvola sull'aereo verticale permette di usare un aereo più piccolo (dato che supplisce il potere amplificatore della valvola), e di avere dei segnali utili per la determinazione del senso su una scala abbastanza ampia di onde, senza fare alcuna regolazione di accordo. Per modificare l'intensità del segnale dell'aereo verticale si varia il negativo di griglia mediante un potenziometro regolabile (fig. 420).

Le valvole schermate sono accoppiate magneticamente fra di loro, con circuito di griglia sintonico, ed ogni stadio di amplificazione è chiuso in apposito involucro schermante. Sulla griglia della rivelatrice, quando questa valvola non è endodina, (e cioè come nella fig. 420), oltre la bobina d'accoppiamento con la placca della terza schermante (provvista di condensatore di accordo) c'è una bobina (nella fig. 420 è in basso a destra) per l'accoppiamento con il circuito anodico della oscillatrice eterodina. L'amplificatrice a b. f. è collegata a resistenza e capacità; e sull'uscita ha un trasformatore telefonico, per l'inserzione di una cuffia a b. r. La fig. 420 dà lo schema di disposizione del ricevitore entro la cassetta involucro; la valvola in basso a sinistra è quella dell'aereo verticale; quella in basso a destra è l'eterodina.

APPENDICE

CAPITOLO I.

Alternatori a radio frequenza ed arco Poulsen.

353. - GENERAZIONE DI OSCILLAZIONI PERSISTENTI A MEZZO DI ALTERNATORI. — La generazione diretta di c. o. a mezzo di alternatori ad altissima frequenza rappresenta il modo teoricamente più semplice di produzione delle o. e. m., bastando infatti collegare in tale caso i due poli dell'alternatore uno alla terra e l'altro all'aereo, quando questo sia accordato sulla frequenza della macchina. La costruzione di alternatori di tale tipo presenta però ancora notevoli difficoltà pratiche, specie se la frequenza che si vuole ottenere è molto elevata; il sistema è quindi specialmente adatto per onde lunghe, e, di conseguenza, per aerei di grande sviluppo, e per trasmissioni a grandi distanze; cioè per stazioni di grande potenza. Una certa difficoltà si incontra nella disposizione del tasto di manipolazione; le soluzioni adottate sono diverse, a seconda del tipo di alternatore.

354. - ALTERNATORI A BASSA FREQUENZA. — Al cap. IV della Parte 1ª si è già accennato al principio su cui si basano gli alternatori a bassa frequenza, ed alla loro costituzione nella forma più semplice. Si è detto che in pratica la spira dell'indotto non ruota in presenza di una sola coppia di poli, ciò che darebbe una inversione completa di corrente (un periodo) per ogni giro dell'indotto; bensì in presenza di una serie di poli, alternativamente di diverso nome, per modo che ad ogni giro la spira subisce tanti rovesciamenti di induzione quante sono le coppie di poli. Cosicchè se p è il numero delle coppie di poli, e se N è il numero dei giri della spira al minuto primo (N/60 è il numero dei giri al secondo), la frequenza della corrente generata sarà data dalla formula (vedi anche nr. 70).

$$f = \frac{N \times p}{60}$$

Come si è già detto, invece dell'indotto rotante e dell'induttore fisso, si può fare questo girante e fisso l'indotto. Negli alternatori normali, dato il basso valore di f che si vuol ottenere, quello di N si può tenere sufficientemente basso, in modo da evitare gli

inconvenienti di una forza centrifuga eccessiva ; e ad ogni modo, se fosse necessario aumentare f, si potrà aumentare p.

Quando occorra portare f a valori notevoli, si dovranno aumentare entrambi i fattori e cioè il numero dei giri ed il numero dei poli. Per il primo si potrebbe anche far ruotare l' indotto e l' induttore con eguali velocità in senso contrario l' uno all' altro, ciò che equivale a tenere uno fermo e fare l'altro girante con velocità doppia. Praticamente poi, tenuto conto della forza centrifuga, non si possono ammettere velocità di rotazione superiori a limiti determinati ; e d' altra parte, non è neppure possibile aumentare molto il numero dei poli induttori, anche riducendone le dimensioni ; si conchiude quindi che il tipo normale di alternatore si presta male, in complesso, per generare delle frequenze dell' ordine ad esempio di decine di migliaia di periodi al secondo. Esiste bensì qualche esemplare di tali tipi, ma essi si debbono considerare come macchine di eccezione, non aventi carattere pratico ed industriale.

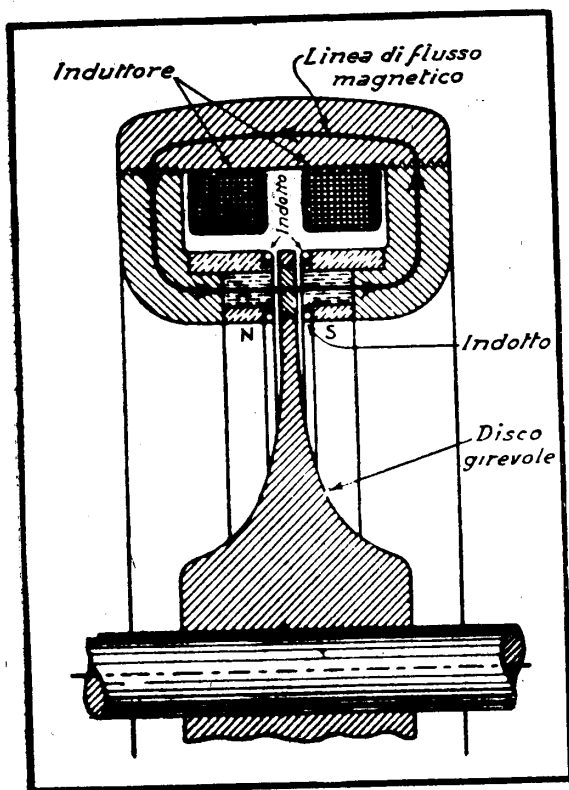



Fig. 421.

355. - ALTERNATORI A RADIOFREQUENZA - ALTERNATORE ALEXANDERSON. — Per generare le frequenze elevate che occorrono in r. t. si sono studiati tipi appositi di alternatori, di cui brevemente saranno indicati i principali.

L'alternatore Alexanderson è una macchina a ferro mobile, e può fornire corrente alternata con frequenza fino a 200.000 periodi al secondo (lunghezza di onda 1500 metri). Esso ha i due avvolgimenti induttore e indotto fissi su uno statore, mentre la parte rotante è un disco di acciaio che gira fra due sporgenze dello statore. Nei piccoli alternatori da 2 kw. (per 3000 m. d' onda), la velocità è di 20.000 giri al minuto (ciò che dà, per un diametro di 30 cm., circa 19 Km. al minuto di velocità periferica). Nei tipi di maggiore potenza (200 kw.) e per onde di 13-15 Km. la velocità può ridursi a 2000 giri al minuto. Per resistere alla grande forza centrifuga il disco è di acciaio al cromo ; è profilato in modo speciale ed ha alla periferia invece di denti, delle finestrelle, per modo che rimanga, sull'orlo del disco, una corona continua. Le finestrelle poi, per ridurre la resistenza dell'aria, non sono lasciate vuote, ma sono riempite con metallo non magnetico, ad esempio bronzo fosforoso (fig. 421).

L' induttore ha due grosse bobine di eccitazione, allogate nella cavità periferica interna dello statore, in modo da determinare un flusso magnetico anulare continuo che attraversa l' intraferro in tutti i punti.

L' indotto è formato da un avvolgimento disposto a zig zag (fig. 422) sopra le estremità delle due branchie dello statore. Dette estremità presentano tanti denti affacciati; quelli di destra sono tutti di una polarità, quelli di sinistra di polarità opposta.

Il disco rotante nel passare fra i denti varia la riluttanza magnetica dell' intervallo fra i due poli e produce quindi una variazione periodica del flusso induttore, ciò che determina una f. e. m. alternata nell' indotto, avente la stessa frequenza delle variazioni, e cioè la frequenza che si ottiene moltiplicando il numero delle finestre del disco per il numero dei giri del disco stesso. Così con 300 finestre e 333 giri al secondo (20.000 al primo) si ha f = 300 × 333 = 100.000 circa, cioè onda di 3000 m.; e con 500 finestre e 40 giri al secondo (2400 al primo) si ha f = 500 × 40 = 20.000 e cioè λ = m. 15.000.

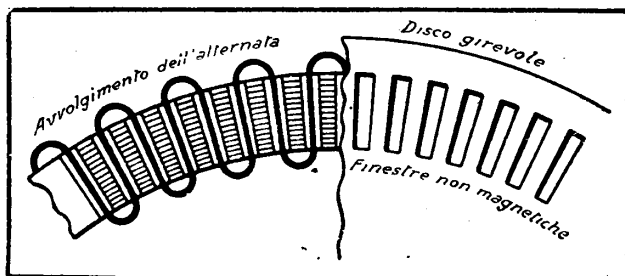



Fig. 422.

356. - ALTERNATORE BETHENOD. — Un altro tipo di alternatore ad a. f. è quello detto a cascata esterna, a cui appartiene l'alternatore Bethenod. Il principio di tali macchine è basato sulla proprietà delle correnti polifasi di poter generare un campo magnetico rotante (campo Ferraris). La corrente polifase ottenuta da un alternatore polifase (I) di frequenza f (fig. 423) eccitato in a da una corrente continua D, viene inviata nell' induttore a_1 di un secondo alternatore (II) sincrono col precedente, ed in modo che si produca un campo rotante in senso inverso a quello del suo rotore. Nell' indotto di questo si avranno quindi delle correnti polifasiche di frequenza 2f, che potranno a loro volta essere inviate come eccitatrici di un alternatore (III), ed ottenere in esso un campo rotante in senso inverso a quello del rotore. In questo si avranno correnti di frequenza 3f, e così via. In un alternatore Bethenod, appartenente a tale tipo, partendo da una frequenza propria per ciascuna macchina di 6000 periodi al secondo, si raggiunge la frequenza finale di 24.000 (onda di 12.500 m.).

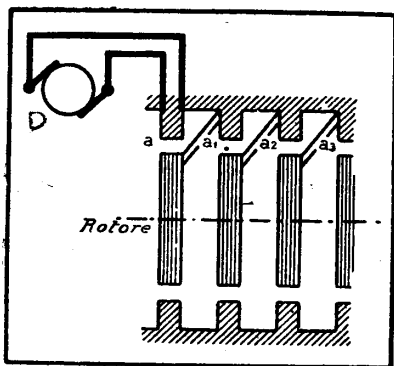



Fig. 423.

357. - ALTERNATORE GOLDSCHMIDT. — L'alternatore Goldschmidt é fondato sulla proprietà di un campo magnetico fisso alternativo di essere equivalente a due campi rotanti in senso inverso. Se il rotore induttore di un alternatore si alimenta, anzichè con corrente continua, con corrente alternata, di frequenza eguale a quella che si genererebbe nell' al-

ternatore se esso fosse alimentato a corrente continua, il campo magnetico generato sarà equivalente a due campi rotanti, che, considerati rispetto al rotore che li genera, ruotano tra loro in senso inverso, e considerati rispetto allo statore ruotano, per conseguenza, l'uno con velocità zero, l'altro con velocità doppia del rotore. Quest'ultimo genererà quindi nello statore una f. e. m. alternata, di frequenza doppia di quella fondamentale dell'alternatore stesso. La corrente che se ne avrà nello statore, ed il relativo flusso avente frequenza doppia, darà luogo a due campi ruotanti inversi, e indurrà a sua volta, per reazione di indotto, nel rotore, due f. e. m. una di frequenza eguale alla fondamentale, e una di frequenza tripla. A sua volta, quest'ultima f. e. m. produrrà nel rotore una corrente di frequenza tripla, e due campi rotanti rispetto allo statore, uno con velocità quadrupla, ed uno con velocità doppia della fondamentale. Cosicchè due f. e. m. di corrispondente frequenza saranno a loro volta generate nello statore, e così di seguito. Negli alternatori comuni tali f. e. m. armoniche della fondamentale, non possono dar luogo a correnti notevoli, per effetto della forte induttanza nei circuiti. Il Goldschmidt ha invece disposto le cose in modo da favorire la generazione di queste armoniche. I circuiti sono rappresentati schematicamente nella fig. 424. S è l'avvolgimento dello statore, percorso da corrente continua fornita dalla batteria B; R è il rotore che gira in presenza dello statore. Si supponga che R giri a tale velocità che la f. e. m. generata in esso abbia la frequenza di 10.000 periodi al secondo. La corrente che se ne otterrà potrà mantenersi, perchè il rotore è compreso nel circuito R C_3 L_2 C_4, che è in risonanza con tale frequenza di 10.000. A sua volta questa corrente, secondo quanto si è detto, crea due campi magnetici di cui uno è fermo rispetto allo statore e l'altro ruota con velocità doppia. Quest'ultimo campo induce con frequenza 20.000 una f. e. m. nello statore S, la quale potrà dar luogo ad una corrente notevole nel circuito S C_1 L_1 C_2, essendo questo in risonanza con tale frequenza. Lo statore S è quindi percorso contemporaneamente dalla corrente continua della batteria B e dalla corrente alternata ora detta, senza che quest'ultima possa percorrere la batteria a causa della induttanza di protezione L. La corrente di frequenza 20.000 sullo statore crea due campi magnetici di pulsazione 20.000, nei quali ruota il rotore; perciò in questo si generano due correnti a frequenza 10.000 e 30.000. La prima percorrerà il circuito R C_3 L_2 C_4, mentre la seconda percorre il circuito R C_3 C_5, che è in risonanza con la frequenza 30.000. Per effetto di questa corrente il rotore nel suo movimento crea due campi alternati di

Fig. 424.

frequenza 40.000 e 20.000, i quali alimentano, il primo il circuito S C_1 L_1 C_2 ed il secondo il circuito S C_1 C_6, che è accordato con la frequenza 40.000. In tale circuito il condensatore C_6 può essere sostituito dal complesso aereo-terra, che così resta percorso dalla corrente di frequenza 40.000, e genererà onde di 7.500 metri. In tale maniera, con circuiti adatti, è possibile ottenere sull'aereo una frequenza quadrupla di quella corrispondente al numero dei giri ed al numero dei poli dell'alternatore. Un tipo di alternatore effettivamente costruito ha 360 poli, 4.000 giri al minuto, e dà una frequenza fondamentale di 12.000 che viene quadruplicata, nel modo ora spiegato, dando all'aereo corrente a frequenza 48.000 (onda di m. 6250). L'alternatore Goldschmidt appartiene al gruppo delle macchine *a cascata interna*.

Fig. 425.

358. - Alternatore Latour. — In questo tipo di alternatore si ottiene una frequenza elevata, con una velocità periferica ridotta, aumentando il numero dei poli omopolari (cosa relativamente facile), ed evitando di aumentare il numero delle bobine indotte, dato che sarebbe di più difficile realizzazione pratica. Si ottiene quanto sopra utilizzando la osservazione che la frequenza della corrente indotta non varia se si sopprimono ad es. 2 su 3 bobine indotte (fig. 425), perchè non cambia il numero di poli che passa per ogni giro di fronte ad ogni bobina. Ciò permette di dare maggior spazio agli avvolgimenti relativi. Invece di sopprimere 2 su 3 bobine indotte, cioè dividere per 3 le bobine, si può triplicare il numero dei poli induttori ottenendo, ugualmente, a parità di bobine e di velocità, una frequenza tripla.

359. - Alternatori ad utilizzazione parziale della periferia. — Un altro tipo di macchine è quello ad *utilizzazione parziale della periferia*.

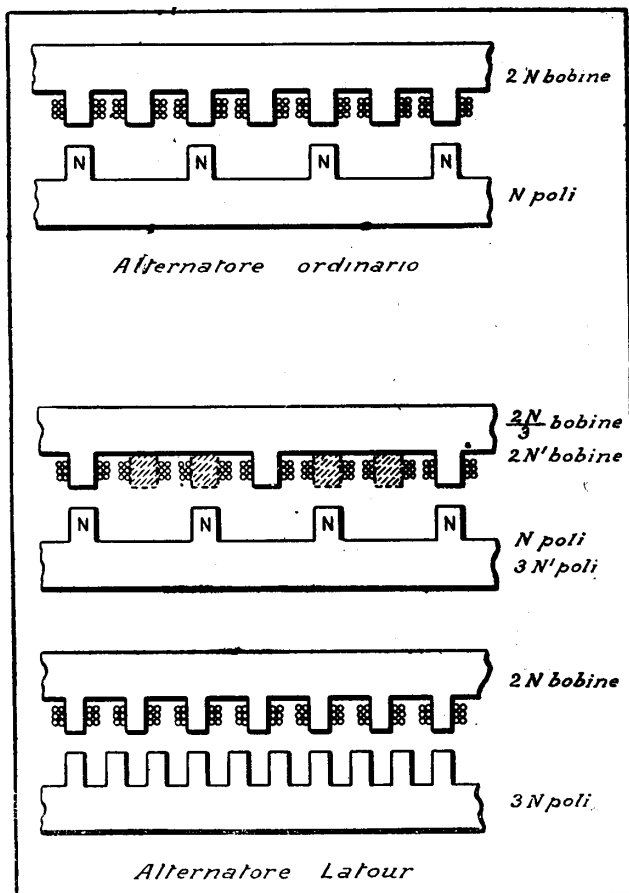
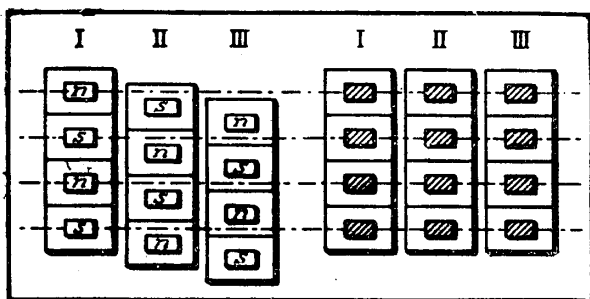
La difficoltà che si incontra nella costruzione di una macchina normale a poli alternati od omopolare per altissime frequenze, senza aumentare eccessivamente la velocità periferica, consiste nell' impossibilità pratica di allogare gli avvolgimenti nelle apposite scanalature,

quando diventano troppo piccole. Ad esempio, con una velocità di 150 m. al secondo (cioè 8 km. al primo), per poter avere 30.000 periodi al secondo, occorre un polo ogni 2,5 mm. Se la larghezza del dente si fa di 2 mm. rimangono solo mm. 0,5 per la scanalatura e l'avvolgimento. Negli alternatori ad utilizzazione parziale della periferia, si dispone su una macchina una parte dei poli necessari, salvo poi a montare sullo stesso albero diverse macchine, in modo da avere nel complesso il numero di poli voluto. Se si considerano ad esempio tre macchine, su ciascuna si può disporre un terzo dei poli totali, e cioè uno ogni tre, e la successione dei poli si ha passando dall'una all'altra macchina (fig. 426). Lo spazio che su ogni macchina resta libero per la mancanza di due poli, permette di far questi abbastanza grandi e di avere delle scanalature di una certa ampiezza. Se il primo polo nord è sulla macchina I, il polo S seguente è sulla macchina II, il secondo polo N è sulla macchina III, ed il secondo polo S torna sulla I macchina, e così via. Anche nei tre statori corrispondenti si ometteranno due poli su tre, ritraendone l'identico vantaggio nei riguardi degli spazi e delle scanalature.

Fig. 426.

360. - Moltiplicatori di frequenza. — Anzichè generare le correnti a frequenze elevate, è stato pure pensato di elevare la frequenza mediante appositi trasformatori (Vallauri, Joly ecc.) di cui si satura il nucleo magnetico in modo da ottenere delle forme irregolari di corrente, e quindi ricche di armoniche. In tal modo si hanno al secondario delle f. e. m. di frequenza multipla, specialmente doppia o tripla, di quella del primario.

Tali f. e. m. armoniche, immesse in circuiti in risonanza con esse, vengono esaltate in modo da utilizzarle con la massima efficienza. Ciò rende più facile la costruzione dell'alternatore che potrà avere minore frequenza, e quindi maggiore spazio per gli avvolgimenti, e minore velocità di rotazione. La moltiplicazione di frequenza si può applicare varie volte, in modo da arrivare a frequenze relativamente elevate, anche partendo da alternatori a soli 5000 $\div$ 6000 per/sec.

361. - Difetti degli alternatori ad a. f. — Gli alternatori ad alta frequenza hanno in comune il difetto di essere di manutenzione delicata, data la velocità periferica sempre notevole, e di richiedere organi molto complessi per mantenere costante la velocità, requisito d'altra parte indispensabile, dato che ogni scarto in questa si ripercuote in una variazione della frequenza e della lunghezza dell'onda generata. Le difficoltà della regolazione sono aumentate dalla necessità della manipolazione per le segnalazioni. Esse sono state tuttavia superate, e varie di tali macchine sono attualmente in funzione per stazioni di grande potenza, nelle quali tutte le cure che esse richiedono sono compensate dalla entità e importanza del traffico. Si rimprovera inoltre agli alternatori la tendenza a generare delle onde *armoniche* (cioè di lunghezza sottomultipla di quella fondamentale), che possono

disturbare le comunicazioni delle altre stazioni, e che ad ogni modo sottraggono energia all'onda fondamentale. Negli impianti più moderni i difetti accennati si possono ritenere sufficientemente eliminati, all'infuori di quello di non prestarsi per produrre onde relativamente corte; di conseguenza gli alternatori a r. f. sono quasi esclusivamente impiegati nei grandi impianti ad onde lunghe (10.000 m. e più).

362. - Arco voltaico e sua caratteristica. — Un altro sistema per produrre le onde persistenti è quello ad arco Poulsen.

Si consideri una comune lampada ad arco voltaico, costituita da due carboni affacciati e collegati ai morsetti di un generatore a corrente continua. Se inizialmente essi sono messi a contatto, e vengono poi separati, per uno scartamento opportuno dei carboni si ha la formazione di un arco luminosissimo, costituito da una colonna di vapore incandescente mobile ed elastica.

Fig. 427.

La temperatura dell'arco è elevatissima (3500°). L'arco si comporta praticamente come un conduttore, poichè attraverso ad esso può passare la corrente; ma differisce dai comuni conduttori perchè non segue la legge di Ohm, e presenta una resistenza speciale, variabile con il variare delle correnti. Ciò appare dalla sua curva caratteristica, esprimente la relazione fra la differenza di potenziale esistente alle sue estremità e la corrente che lo attraversa (fig. 427). La caratteristica dell'arco è una curva discendente come la AB, tale cioè che essendo fissa la lunghezza dell'arco e costante la f. e. m. di alimentazione, se si fa aumentare dal valore OP al valore OQ la corrente che lo attraversa, la tensione agli estremi dell'arco diminuisce, e passa dal valore AP al valore minore BQ, e reciprocamente, se si fa diminuire la corrente da OQ ad OP, la tensione cresce da BQ ad AP.

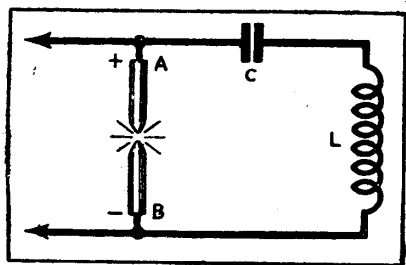
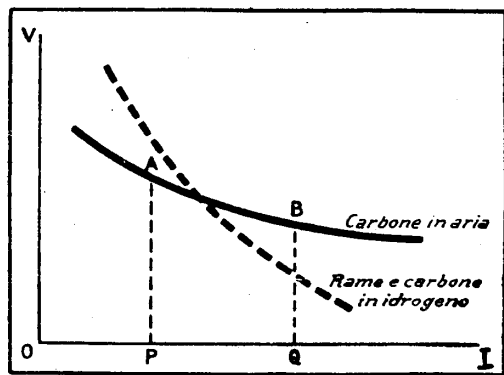



Fig. 428.

Cambiando la natura degli elettrodi e quella del mezzo in cui l'arco si produce, varia l'inclinazione della caratteristica. Così in una atmosfera di idrogeno, con elettrodi dissimmetrici (rame-carbone) la caratteristica è più discendente che nell'aria e con entrambi gli elettrodi di carbone (fig. 427).

La ragione di questo comportamento dell'arco va ricercata specialmente nel fatto che il catodo emette una enorme quantità di elettroni i quali, accumulandosi sull'anodo, ne diminuiscono il potenziale rispetto al catodo. La diminuzione è tanto maggiore quanto più la corrente elettronica è intensa; quindi la tensione diminuisce al crescere della corrente.

363. - Arco generatore di oscillazioni persistenti. — Derivando su un arco voltaico un circuito costituito da un condensatore C e da una induttanza L (fig. 428), si producono, quando siano soddisfatte determinate condizioni, delle oscillazioni elettriche persistenti nel circuito stesso.

Il fenomeno, preannunciato nel 1892 da E. Thomson, venne dimostrato nel 1900 da M. Duddel, il quale, con la disposizione ora indicata, riuscì ad ottenere dall'arco una nota musicale, la cui altezza corrisponde alla frequenza del circuito ABCL. L'esperienza prova che la frequenza può variare entro limiti abbastanza estesi, cambiando le condizioni dell'arco e le costanti LC. Duddel ottenne in tal modo delle frequenze dell'ordine di alcune migliaia di periodi al secondo.

Il fenomeno può spiegarsi come segue:

Tenendo presente il comportamento speciale dell'arco, indicato dalla caratteristica, il caricarsi del condensatore C del circuito derivato da B ad A, per effetto della tensione applicata ai carboni, sottraendo una parte della corrente all'arco, provoca un aumento di tensione sull'arco stesso, favorendo così ulteriormente il fenomeno della carica. A carica ultimata il condensatore si scarica attraverso l'arco (da A a B), producendovi un aumento di corrente, e quindi una ulteriore diminuzione di tensione, che favorisce il fenomeno di scarica. A scarica ultimata si riproduce nuovamente il fenomeno, e le variazioni di tensione e di corrente dell'arco favoriscono sempre le cariche e le scariche successive del condensatore, con un periodo che è determinato dalla capacità C e dalla induttanza L. Si producono così nel circuito ABLC delle oscillazioni persistenti, per le quali l'energia viene fornita dal circuito di alimentazione. Le variazioni di corrente nell'arco ne cambiano periodicamente le condizioni fisiche, determinando da parte dell'arco stesso delle variazioni periodiche nelle sue dimensioni. Se la frequenza di queste variazioni è compresa nella gamma dei suoni udibili, le conseguenti compressioni e rarefazioni dell'aria circostante all'arco producono un suono di altezza eguale alla frequenza di dette variazioni (arco cantante Duddel).

364. - Tre tipi di regime oscillante dell'arco. — Numerose esperienze hanno posto in rilievo che quando l'arco funziona da generatore di oscillazioni persistenti possono verificarsi tre specie distinte di regime.

1. Regime delle oscillazioni di prima specie.

L'ampiezza della corrente oscillante nel circuito del condensatore è minore della intensità costante della corrente di alimentazione, onde la corrente che attraversa l'arco, e che è la somma algebrica delle due, non passa mai a zero, e non si determina mai lo spegnimento dell'arco (fig. 429 *a*). La curva riferita all'asse OI_0 è la corrente nel circuito oscillante; riferita all'asse inferiore I_0O rappresenta la corrente attraverso l'arco, mentre l'asse OI_0 rispetto a quello I_0O rappresenta la corrente di alimentazione, a intensità costante.

2. Regime delle oscillazioni di seconda specie.

L'ampiezza della corrente oscillante nel circuito del condensatore è grande, e supera l'intensità della corrente di alimentazione. La corrente attraversante l'arco durante un certo tempo brevissimo cade a zero, cosicchè si ha un temporaneo spegnimento dell'arco (fig. 429 *b*). In questa figura, come pure in quella successiva, la curva superiore rappresenta l'intensità nel circuito oscillante, se riferita all'asse I_0O. La curva inferiore per la parte a tratto pieno rappresenta la tensione alle armature del condensatore, e per quella a tratti la tensione ai capi dell'arco.

3. Regime delle oscillazioni di terza specie.

L'intervallo di spegnimento è molto lungo, e la corrente prima di annullarsi compie una o più oscillazioni smorzate, durante le quali essa si inverte anche di senso (fig. 429 *c*). La linea superiore piena rappresenta la corrente nell'arco. La inferiore per la parte piena

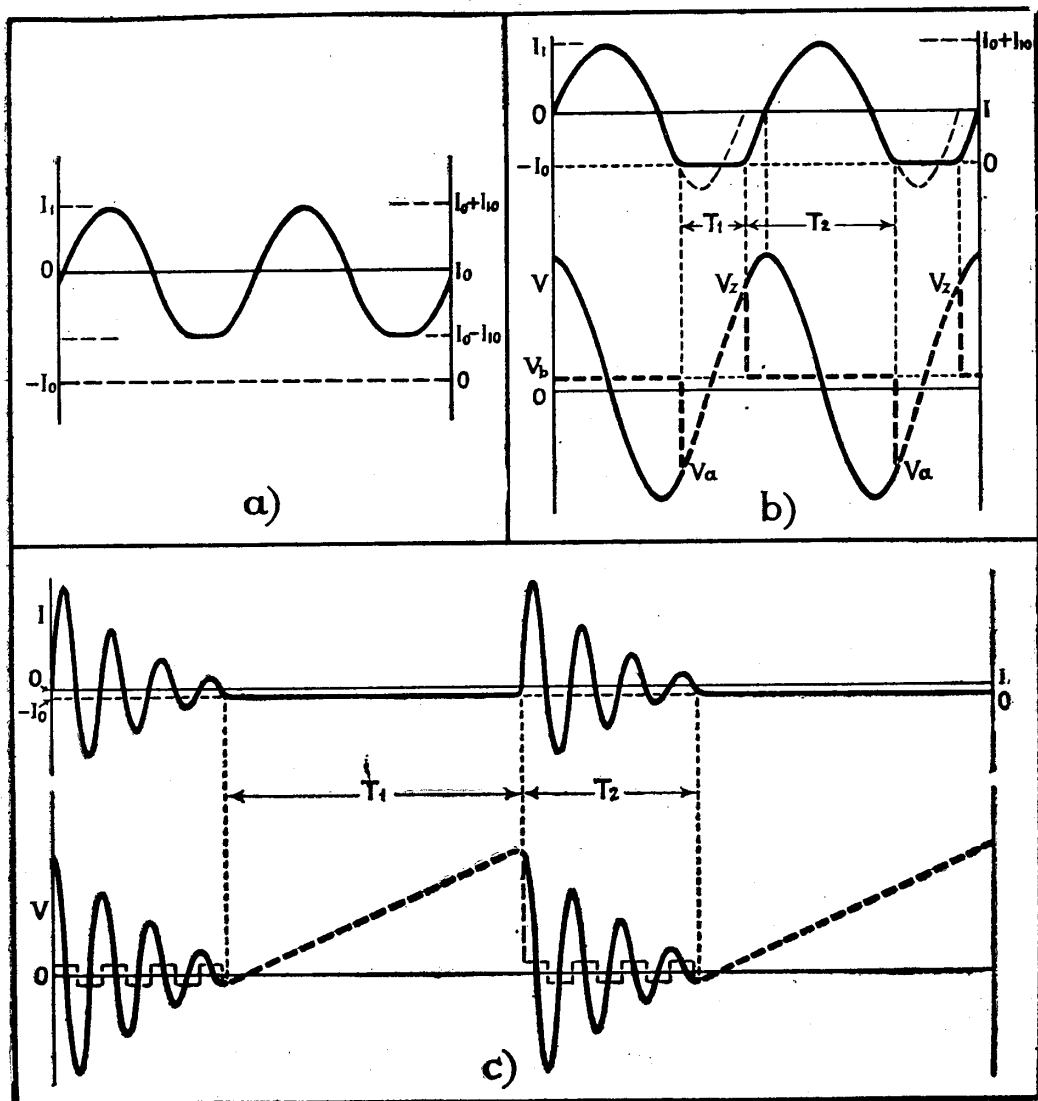



Fig. 429.

la d. d. p. al condensatore ; per quella a tratti la d. d. p. all'arco. Caso estremo di questo regime si può considerare quello della scintilla nei sistemi a spinterometro fisso, come generatori di oscillazioni smorzate.

365. - Dispositivo Poulsen. — Nel dispositivo Poulsen per l'arco, si cerca di far funzionare questo al limite fra i regimi della prima e della seconda specie, e con la massima d. d. p. agli estremi, onde ottenere la massima potenza oscillante possibile. L'arco

si fa avvenire in un'atmosfera di idrogeno o di altro idrocarburo (es. vapori d'alcool), fra un elettrodo positivo di rame (anodo), raffreddato internamente da una corrente di acqua, ed un elettrodo negativo di carbone (catodo).

Si applicano inoltre altri due artifici utili:

1) un moto rotatorio lento al carbone, che ne rende più uniforme il consumo;

2) un campo magnetico normale all'arco, generato da due potenti elettromagneti disposti in serie sulla corrente di alimentazione. L'azione del campo e degli altri artifizi è quella di favorire la deionizzazione dell'ambiente, e il temporaneo spegnimento dell'arco, nonchè di allungare l'arco stesso, aumentandone così la d. d. p. agli estremi, e di conseguenza accrescendo la energia delle oscillazioni generate.

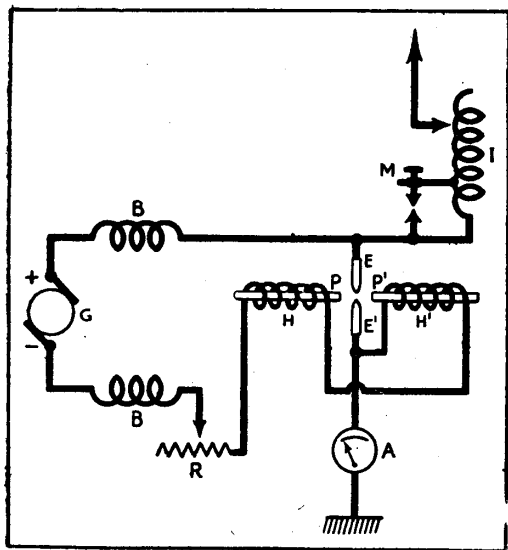



Fig. 430.

366. - Trasmettitore ad arco Poulsen. — La fig. 430 rappresenta la disposizione adottata inizialmente dal Poulsen. L'arco E si determina fra un elettrodo positivo (superiore) di rame, cilindrico, con circolazione di acqua fredda, ed un elettrodo negativo (inferiore) di carbone compatto. All'elettrodo di carbone si dà un movimento lento di rotazione intorno al proprio asse, o con un meccanismo di orologeria o con un piccolo motorino elettrico.

I due elettrodi sono disposti nell'interno di un recipiente a tenuta d'aria, nel quale si introduce dell'idrogeno, o del gaz illuminante (che è costituito da una miscela di idrocarburi), od altro vapore idrocarburato. Nei piccoli apparecchi viene impiegato del vapore d'alcool, ottenuto facendo gocciolare, sull'elettrodo di rame, dell'alcool contenuto in apposito serbatoio.

Il gaz idrocarburato, essendo buon conduttore del calore, assicura un conveniente raffreddamento dell'arco; d'altra parte, essendo in tal modo escluso l'ossigeno dall'atmosfera in cui si forma l'arco, viene notevolmente ridotto il consumo dell'elettrodo di carbone, consumo che si riduce ancora, perchè la decomposizione degli idrocarburi provoca un deposito di carbone su tale elettrodo. Il campo magnetico trasversale è prodotto dalle estremità polari di un elettromagnete a ferro di cavallo, i cui avvolgimegti (H e H') sono percorsi dalla stessa corrente dell'arco.

Il circuito di alimentazione è collegato ad un generatore di corrente continua, da 400 a 500 volta, e contiene una resistenza regolabile R e le bobine di protezione B. In derivazione sull'arco si ha il circuito oscillante, che deve comprendere una induttanza piuttosto grande ed una capacità. A tale circuito si accoppia poi l'aereo. Talvolta (come nella fig. 430) la capacità del circuito derivato sull'arco è costituita dall'aereo, cosicchè l'arco risulta inserito direttamente fra aereo e terra. L'aereo allora è collegato all'elettrodo di rame attraverso una bobina I di grande induttanza, il cui scopo è di rendere stabile ed uniforme la produzione delle oscillazioni; e la terra è connessa al carbone.

Le principali cure delle stazioni ad arco vanno alla camera dell'arco, soggetta a sporcarsi per deposito di carbone volatilizzato; al carbone, soggetto a bruciarsi irregolarmente; alla regolazione del campo magnetico, che si può fare variando la distanza fra i due nuclei (intraferro).

L'arco funziona bene solo con ottime prese di terra e con onde lunghe, e non è quindi adatto per piccole stazioni mobili.

Altra particolarità caratteristica delle stazioni ad arco è il sistema di manipolazione con il tasto. Questa non potrebbe farsi ad esempio spegnendo completamente l'arco, poichè esso potrebbe difficilmente riprendere con regolarità il proprio regime dopo ogni interruzione. Perciò l'arco si lascia sempre in funzione, e la manipolazione si fa sul circuito d'aereo, ed è normalmente così disposta da mettere in corto circuito alcune spire dell'induttanza variabile d'aereo. In tal modo l'irradiazione di onde da parte dell'aereo avviene continuamente, a partire dal momento in cui si accende l'arco, fino al momento in cui si spegne; però, a tasto alzato, l'onda che si irradia è di lunghezza diversa da quella dell'onda che si ha a tasto abbassato. L'onda a tasto alzato è detta di riposo; quella a tasto abbassato è l'onda di lavoro, e su di questa naturalmente si deve accordare l'apparato di ricezione.

367. - Difetti dei generatori ad arco. — La presenza dell'onda di riposo costituisce un primo difetto del sistema, in quanto rappresenta un disturbo per le stazioni che devono ricevere su quella lunghezza d'onda. Tale onda si può eliminare con l'aggiunta di circuiti assorbenti, che però complicano l'impianto. Inoltre l'arco ha tendenza a generare onde armoniche, come gli alternatori, ed è infine un difetto notevole il fruscìo che esso determina in tutte le stazioni riceventi vicine, dovuto specialmente alle piccole e frequenti irregolarità nella combustione, al consumo non uniforme e regolare del carbone, ed alle conseguenti irregolarità nella corrente dell'arco e nelle cariche dell'aereo.

Capitolo II.

La radio sui veicoli aerei.

368. - Generalità. — L'applicazione degli apparecchi radio a bordo dei veicoli aerei presenta alcune particolarità degne di menzione.

Date infatti le caratteristiche di un veicolo aereo, occorre che gli apparecchi r. t. rispondano ai seguenti requisiti:

1.° siano leggeri, per non aumentare troppo i pesi morti nel veicolo;

2.° non occupino troppo posto, dato gli spazi ristretti di cui si può disporre;

3.° le parti esterne della stazione, e cioè aereo e contrappeso, pur rispondendo al loro compito di irradiatore e di raccoglitore delle onde, non diano fastidio alla navigazione ed alle manovre del veicolo, specie alla partenza ed all'arrivo; ed all'occorrenza si possano, per questi due periodi, ridurre alla minima espressione, appunto perchè il disturbo da essi recato sia minimo; inoltre, che tale riduzione si possa fare con sufficiente celerità.

369. - Peso degli apparecchi. — Per quanto riguarda il peso degli apparecchi, poichè una stazione radio ha bisogno di una batteria di accumulatori o di una macchina dinamo-elettrica come sorgente di energia; e talvolta anche di un rocchetto o di un trasformatore per elevare il potenziale della corrente (apparecchi tutti che sono di un certo peso, anche per potenze limitate), si riesce alla conclusione che l'energia di cui si potrà disporre sarà relativamente piccola. Ciò però non risulta in definitiva come un difetto dell' installazione radio. Allo stato attuale della tecnica r. t., usando a bordo trasmettitori ad onde persistenti, anche cortissime, ed a terra, per la ricezione nelle stazioni, apparecchi a valvola a diversi gradi di amplificazione, si possono raggiungere, con una potenza molto inferiore ad un kw., anche migliaia di Km. di portata, ciò che è più che sufficiente per i bisogni dell'aeronavigazione. È quindi possibile oggi stabilire la potenza del trasmettitore da usare a bordo, in ragione della distanza da superare e del servizio cui sarà adibito il veicolo aereo che ne sarà provvisto; e studiare poi il complesso che per tale potenza abbia il peso minimo. In tale studio è bene tener presente varie circostanze favorevoli, e cioè che la durata dei viaggi aerei è, fino ad oggi, generalmente non troppo lunga; che la tempe-

ratura normale ambiente a bordo di un veicolo aereo è notevolmente inferiore a quella che si è soliti considerare per le installazioni a terra; che si può ottenere facilmente una ventilazione forzata; che non presenta difficoltà il fornire movimento con numero di giri rilevante (fin verso 4500 giri al minuto) alle macchine dinamo-elettriche. Tutto ciò permette di ridurre, entro i limiti consentiti dal rendimento, le sezioni dei fili, lo spessore degli isolanti, il numero dei poli, con relativi alleggerimenti; e di ricorrere a batterie di accumulatori di capacità relativamente piccola.

370. - INGOMBRO DEGLI APPARECCHI. — Circa lo spazio occupato, affinchè l'ingombro sia il più piccolo possibile, si può fare in modo che si trovino a portata di mano solo gli apparecchi esclusivamente necessari, e cioè il ricevitore, il tasto manipolatore e gli elementi di accordo per la trasmissione, nonchè, occorrendo, il congegno di comando per il lancio e il ripiegamento dell'aereo e del contrappeso; mentre i circuiti di trasmissione potranno collocarsi in spazi meno accessibili, e la dinamo generatrice (se questa esiste), in prossimità dei motori, per usufruire di questi, oppure su un'ala, o su un montante del carrello, nel caso di un aeroplano, onde poter avere il movimento a mezzo di mulinello che gira per effetro del volo. La stazione deve quindi potersi facilmente dividere, anche mettendo fra una categoria e l'altra di apparecchi una distanza notevole; oppure deve potersi far funzionare con comandi a distanza.

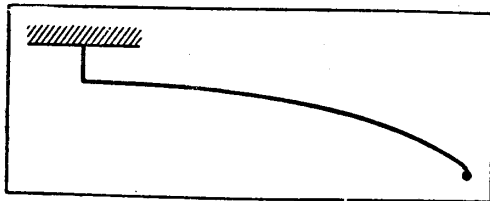



Fig 431.

371. - SISTEMA IRRADIANTE. — Le parti esterne di un impianto r. t. a bordo sono l'aereo ed il contrappeso, collegati fra di loro attraverso gli apparecchi di stazione. La disposizione ha assunto varie forme.

L'aereo è per lo più costituito da un filo di treccia di rame o di bronzo fosforoso, di lunghezza conveniente (da 40 a 100 m.), in dipendenza dell'onda che si vuol produrre; si lascia in genere pendere liberamente nello spazio dalla carlinga o dalla navicella; ed è munito di un peso di estremità, per aiutarne lo svolgimento, e per tenerlo disteso. Sotto l'azione del peso e della pressione del vento creato dal moto del veicolo, il filo si dispone in forma di curva che volge la concavità verso il basso (fig. 431). Il filo tende ad essere tanto più orizzontale quanto maggiore è la velocità dell'aeroplano, e quanto più piccolo è il peso di estremità. Tale peso (o piombino) è in genere a forma di cilindretto, oppure di solido di minima resistenza alll avanzamento. L'aereo è poi guidato lungo le strutture del veicolo a mezzo di uscite di aereo e di guide, di forme adeguate, ed isolanti.

Il contrappeso è costituito da un altro aereo identico al precedente (fig. 432), oppure da un sistema di fili o reti o di masse metalliche, le quali potrebbero anche essere la stessa intelaiatura di navicelle e di carene, di carlinghe e di ali, a seconda se si considerano dirigibili od aeroplani. Quando il contrappeso non è formato da un filo identico all' aereo, la massa metallica che lo costituisce dovrà avere valore e sviluppo tale da essere adeguata all'aereo.

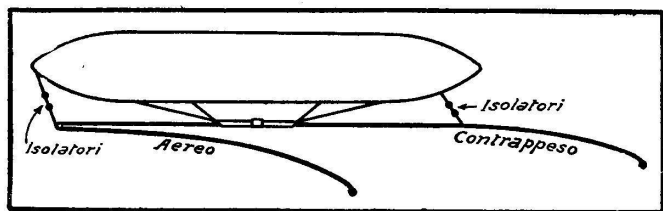



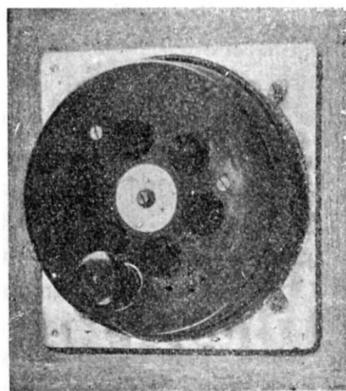
Fig. 432.

Si deduce che tanto per l'aereo quanto per il contrappeso, che sono sviluppati al di fuori dell'aeronave, si dovrà ricorrere a dispositivi che ne permettano lo spiegamento, non essendo ammissibile che durante le manovre di partenza o di atterraggio, di entrata o di uscita dall' hangar, si abbiano dei fili svolti al difuori del veicolo e di lunghezza abbastanza considerevole. Il ripiegamento e lo spiegamento devono essere facili e rapidi, non solo, ma le parti di aereo e di contrappeso che rimangono dopo il ripiegamento devono risultare pure esse di poco ingombro, e non dare alcuna noia alle manovre a terra.

Il lancio ed il ricupero dell'aereo possono farsi usando tamburelli speciali che permettano il collegamento elettrico dei fili svolti (qualunque sia la parte svolta), con gli apparecchi di stazione, e che siano rapidi nella manovra. Si possono naturalmente dare varie forme a questi tamburelli, rispondenti più o meno agli scopi ora detti (fig. 433).

Fig. 433.

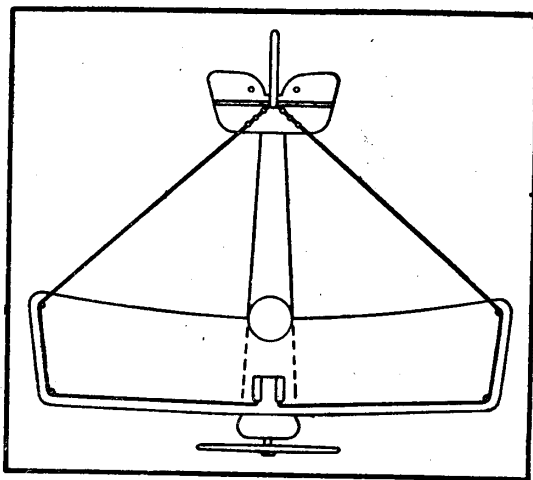
Si può però ricorrere all'aereo a forma fissa, in modo da permettere la comunicazione anche con dirigibile od aeroplano a terra, e cioè con veicoli aerei atterrati e fermi. Nel caso di un dirigibile, l'aereo può essere costituito da un filo che corre parallelamente alle membrature metalliche dell'involucro, lateralmente al veicolo, lungo quasi tutto il dirigibile, sostenuto da aggetti isolanti. Invece di un filo solo si possono disporre due fili, ai due lati dell' involucro, i quali funzionano tutti e due da aereo, oppure uno da aereo e l'altro da contrappeso. La lunghezza massima dell'aereo risulta così quella consentita dalle dimensioni del dirigibile.

Nel caso di un aeroplano, una sistemazione possibile è, ad es., quella di un aereo costituito da due fili, ciascuno dei quali, partendo dall' interno della carlinga, sale sull'ala superiore, percorre, sostenuto da montantini isolanti, una metà

dell'ala (l'altro filo percorre l'altra metà) fino all'estremità ; poi piega verso poppa, e tesandosi libero fra l'ala e la coda, raggiunge quest'ultima, e lì termina (fig. 434). Oppure l'aereo può essere costituito da due fili paralleli, disposti su montantini isolanti sull'ala superiore, che scendono in carlinga da un estremo o dal centro ; od anche da fili tesati su aggetti isolanti che sporgono dal bordo d'attacco delle ali. Nel caso di aereo fisso, si ricorre spesso, invece che ad un filo, ad una strisciolina di rame o di bronzo fosforoso, profilata a sezione di minima resistenza all'avanzamento. La stessa sezione devono avere nel senso della marcia del veicolo i montantini e gli aggetti isolanti di sostegno.

Se il contrappeso è un filo sviluppato nello spazio, analogo all'aereo, allora si ricorre allo stesso sistema del tamburello, per il suo ricupero durante le manovre di partenza e di arrivo. Nel caso di un dirigibile, si può costruire il contrappeso in modo tale da poterlo lasciare spiegato, senza che ciò disturbi la manovra. Quando poi il contrappeso sia costituito dalla massa metallica del veicolo aereo, non occorre alcun dispositivo speciale, e sono anche evitati gli inconvenienti accennati di ingombro e di resistenza all'avanzamento. La massa metallica comprende motori, serbatoi di benzina e di olio, radiatori, tiranti, comandi, diagonali e controdiagonali.

Fig. 434.

In un dirigibile la massa metallica è in genere sufficiente allo scopo ; invece per un aeroplano tale massa può essere piccola ; ed allora si può aumentarla, senza crescere la resistenza al moto, e solo con un piccolo aumento di peso, disponendo nell' interno delle ali, prima della loro intelatura, un intreccio di fili di alluminio, od una lastra sottile dello stesso metallo. Si procede cioè a quella che si chiama la metallizzazione delle ali.

Circa le caratteristiche elettriche del sistema aereo-contrappeso, occorre osservare che si può riuscire facilmente ad una disposizione direttiva di emissione. L' installazione su aeroplano o su dirigibile, con la massa come contrappeso e con l' aereo liberamente pendente nello spazio (fig. 431), ha appunto un certo carattere di direttività. Considerato infatti la posizione che viene ad assumere l'aereo rispetto al veicolo che funziona da terra, si rileva subito che essa è simile a quella degli aerei dirigibili Marconi (fig. 435), ma capovolta, dato che la terra si trova in tal caso superiormente all' aereo.

Con l'uso delle onde molto corte, si può ricorrere ad altri tipi di aereo molto ridotti, e di conseguenza più convenienti per una installazione a bordo. Si può avere l'aereo sotto forma di un dipolo costituito solo da due conduttori disposti simmetricamente rispetto al centro di eccitazione, oppure sotto forma di un telaio. In questo secondo caso la trasmissione è direttiva; e quindi o si orienta il quadro, se questo è mobile, oppure si orienta tutto il veicolo aereo, se il quadro è fisso. Con aereo a telaio, questo può anche essere adattato alle strutture del veicolo, e cioè ad es., trattandosi di un aeroplano, potrebbe seguire l'andamento di due montanti, anteriore e posteriore, della cellula delle ali, oppure di due montanti anteriori.

Si potrà anche fare l'aereo fisso dissimmetrico, disponendo un montantino rigido, isolato, dell'altezza di $1 \div 2$ metri che funziona da aereo, mentre la massa del veicolo funziona da contrappeso.

L'adozione di un aereo fisso evita un difetto nella trasmissione, che si ripercuote nella ricezione a terra, e che è più risentito con le onde persistenti, data la loro molto maggiore acuità di sintonia. Esso consiste in una variazione continua ed irregolare della lunghezza d'onda irradiata dall'aereo liberamente pendente nello spazio, quando la massa metallica del veicolo faccia da contrappeso e quando il trasmettitore sia del tipo a eccitazione diretta dell'aereo; dovuto tale fatto alla continua irregolare variazione nella posizione dell'aereo rispetto alla massa, per effetto delle diverse velocità e particolarità (picchiata, cabrata, voltata) del volo.

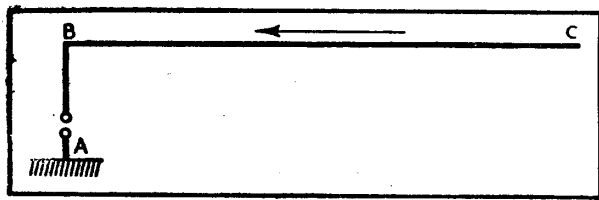



Fig. 435.

372. - GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA. — La sorgente di energia elettrica a bordo è, come già si disse, una batteria di accumulatori od una macchina dinamo-elettrica. Nel primo caso, trattandosi generalmente di trasmettitori di piccola potenza, si adottano batterie di piccola capacità, e quindi leggère, potendosi, qualora si abbia una buona organizzazione a terra, provvedere facilmente alla ricarica.

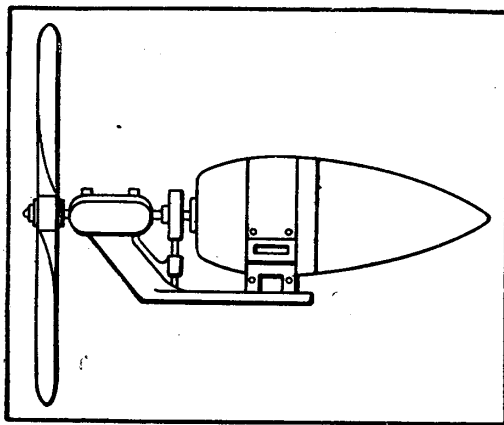
Se la potenza è maggiore, è necessario adottare la macchina dinamo-elettrica, poichè la batteria, per rispondere alle dovute caratteristiche di corrente, assumerebbe un peso proibitivo. La macchina può farsi sufficientemente leggèra, in vista, come si disse, della bassa temperatura ambiente, e della possibilità di una forte ventilazione e di un elevato numero di giri.

Il movimento a tale generatore può essere dato in due modi: o con trasmissione dal motore o da uno dei motori del veicolo; o per mezzo di elica calettata direttamente sull'albero del generatore, e fatta girare dalla corrente

d'aria provocata dal volo dell'apparecchio. Quest'ultimo sistema è applicabile per lo più solo a bordo di aeroplani, non essendo in genere conveniente nel caso dei dirigibili, poichè il dirigibile può mantenersi con i motori fermi, senza alcun moto rispetto all'aria ambiente, in sostentazione statica, ed il generatore non avrebbe allora alcun movimento,

La trasmissione dal motore al generatore può farsi in diversi modi: a cinghia, ad ingranaggi, a catena, con innesto e disinnesto; occorre in genere curare bene tale trasmissione, dato il forte numero di giri del generatore. Sull'adozione del dispositivo meccanico di trasmissione più adatto influiscono anche considerazioni di peso, di spazio disponibile in prossimità dei motori, di accessibilità di tali spazi. Però la trasmissione dal motore non è, nè per aeroplani, nè per dirigibili, la soluzione migliore del problema del moto al generatore, dato che il motore potrebbe essere in avaria.

Fig. 436.

La produzione di moto a mezzo di mulinello è più conveniente, ma presenta anch'essa degli svantaggi d' indole varia. Il sistema non permette ad esempio la trasmissione con apparecchio a terra od in mare. Ed inoltre, mentre l' installazione è facile, potendosi collocare in un punto qualunque il generatore, purchè il mulinello sia investito convenientemente dalla corrente d'aria, si ha lo svantaggio di esporre una superficie resistente al vento, costituita dal mulinello fermo, (se il generatore è provvisto di freno per fermarne il movimento), oppure in rotazione; ed anche il più spesso dal generatore stesso, se esso si trova, come di solito, fuori della carlinga, sulle ali o sul carrello. A ridurre quanto possibile tale resistenza, il generatore si profila a solido di massima penetrazione, mediante rivestimento a calotta di lamierino di alluminio (fig. 436) (se la grossezza dell'ala dalla parte del bordo d'attacco è notevole, si può anche chiuderlo nell'ala stessa); e la rotazione non si fa superiore ad un certo numero di giri (4000 circa al minuto), giacchè, ad un numero di giri troppo elevato (a parte la resistenza alla forza centrifuga), il mulinello offre resistenza all'aria come se fosse un disco pieno, avente lo stesso diametro.

Una particolarità è ancora degna di nota; il fatto che il mulinello può variare la sua velocità in dipendenza della velocità dell'apparecchio; e quindi si ha il minimo numero di giri ad aeroplano in salita; il massimo ad aeroplano in discesa. Tale variazione può essere dannosa al generatore; ed è talvolta da evitarsi, quando il generatore debba erogare corrente con tensione costante, come

appunto é necessario in alcuni casi per i trasmettitori a valvola. Per questi complessi, ad evitare l'aumento di tensione dovuto al variato numero di giri del mulinello, si provvede in vario modo. Ad es.: col fare l'elica montata su un secondo alberetto che viene collegato a quello del generatore a mezzo di un giunto automatico, il quale si apre quando la forza centrifuga ha raggiunto un certo valore. Oppure col disporre un regolatore automatico sull'eccitazione. E finalmente con l'impiegare eliche a numero costante di giri, entro determinati limiti di velocità dall'aeroplano (fig. 437). In tal caso il mulinello ha le pale mobili, che possono spostarsi per forza centrifuga, e che ad es. sono guidate in tale spostamento da un pernetto impegnato in una scanalatura elicoidale. Il mulinello autoregolatore è a due pale; ma può essere anche ad una pala sola, che viene equilibrata da un peso, pure esso spostabile per forza centrifuga.

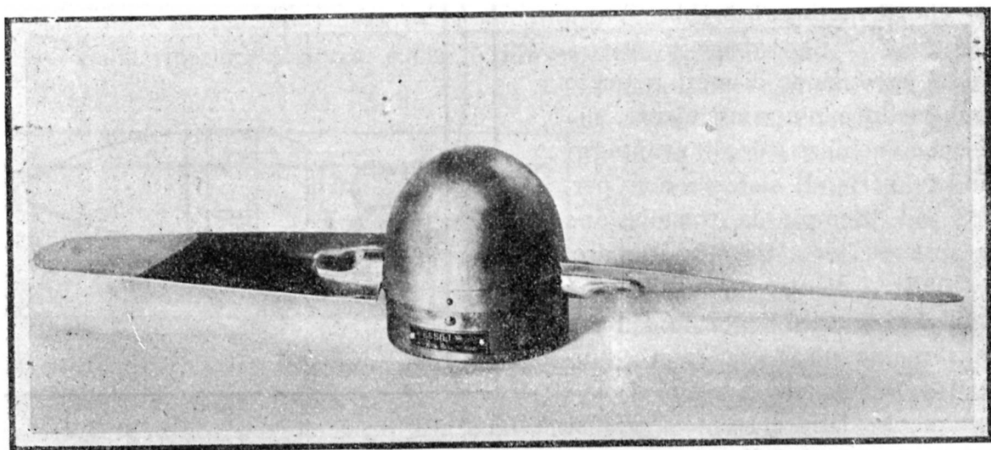



Fig. 437.

Nell'installazione a bordo di un aeroplano di un generatore a mulinello è bene tener presente che possono venire alterate un poco le condizioni di equilibrio dall'apparecchio, per la presenza di una resistenza eccentrica. Ed inoltre il mulinello dovrà essere di costruzione molto accurata, e perfettamente equilibrato, perchè, data l'alta velocità, sono sensibilissimi gli squilibri dell'elica, le trepidazioni, le vibrazioni, che si traducono in sollecitazioni pericolose per l'alberetto del generatore e per il generatore stesso.

La disposizione del generatore a bordo che permette di essere indipendenti dal veicolo aereo, dai suoi motori e dalla sua navigazione è però quella con motore proprio, il quale potrà essere a scoppio, di piccola potenza, oppure elettrico, nel qual caso il generatore della stazione rt. prende la forma di un convertitore rotante, alimentato come motore da corrente continua, e che eroga la corrente voluta per il trasmettitore. La corrente continua per il motore sarà for-

nita da una batteria di accumulatori, per la quale, in lunghi viaggi senza scalo, potrà anche farsi la carica a bordo, a mezzo di dinamo mossa dai motori principali od a mulinello, mentre nel caso di viaggi brevi oppure di grandi viaggi, ma con scali lungo la rotta, potrà disporsi il ricambio a terra, potendosi organizzare il servizio in tal senso, con risparmio di peso e con semplificazione di impianti a bordo.

Il disporre di un'installazione rt. completamente indipendente dal veicolo aereo permette le comunicazioni anche con dirigibile od aeroplano posato in terra od in mare. S'impiegherà allora l'aereo fisso di cui si è avuto occasione di parlare; però, in caso di onde relativamente lunghe, e potendo farlo, sarà bene provvedere con un aereo provvisorio, che si trovi per la trasmissione in migliori

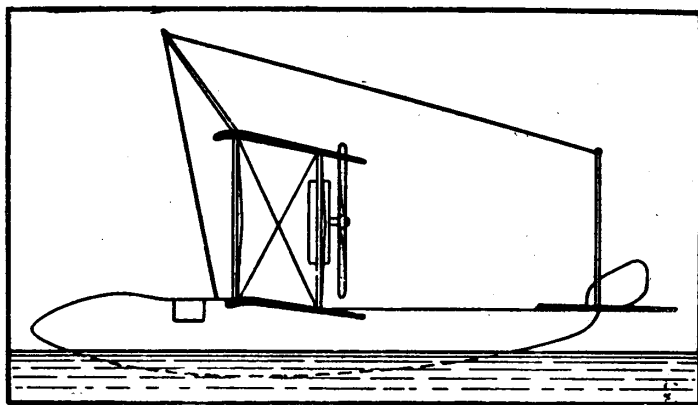



Fig. 438.

condizioni di quello fisso a bordo; ad es.: trattandosi di aeroplano, sarà conveniente alzare l'aereo con delle antennole, che potrebbero fissarsi ai montanti estremi delle ali ed al montante di coda (fig. 438).

373. - La ricezione. — Lo stesso sistema aereo-contrappreso usato per la trasmissione, sia con aereo fisso, che con aereo liberamente pendente, viene impiegato per la ricezione; con l'aereo fisso, la ricezione può eseguirsi stando anche a terra oppure ammarati, avendo in tal modo, da fermo, la sicurezza delle comunicazioni, ad una distanza però minore di quella che si ha durante il volo con aereo pendente se si impiegano onde relativamente lunghe.

A bordo di un veicolo aereo, anche se l'installazione dell'apparecchio ricevente possa farsi abbastanza lontana dai motori e dalle eliche, si avrà sempre un disturbo notevole durante la navigazione od il volo, prodotto appunto dai gruppi motopropulsori del veicolo; sarà quindi necessario che il suono nel telefono superi il rumore esterno.

A tale scopo occorrono ricevitori di molta sensibilità, e cioè a un gran numero di valvole; cosa tanto più necessaria se si impiega l'aereo fisso, per supplire con la grande sensibilità alle scarse proprietà raccoglitrici di tale tipo di aereo. A questo punto interviene però un disturbo notevolissimo, dovuto all'induzione del sistema di accensione elettrica dei motori di bordo. Tale induzione genera nell'aereo una corrente che entra nel ricevitore insieme con la trasmissione che si vuol ricevere, e che viene amplificata e portata alla cuffia, creando un disturbo che soffoca in generale la ricezione. Ad eliminare l'inconveniente si ricorre allo schermaggio integrale dell'accensione elettrica dei motori di bordo: e cioè si adottano degli schermi per i magneti e per le candele, e dei conduttori schermati per il collegamento fra i primi e le seconde. I conduttori schermati sono cavetti isolati in gomma, per alta tensione, muniti di una guaina esterna formata da una treccia di fili di rame stagnato; gli schermi dei magneti sono coperture metalliche che rivestono il distributore; gli schermi per candele sono cappucci metallici che coprono lo stelo delle candele, pur permettendo che arrivino ad esse i conduttori di collegamento. Si possono impiegare però anche le candele del tipo schermato (fig. 439).

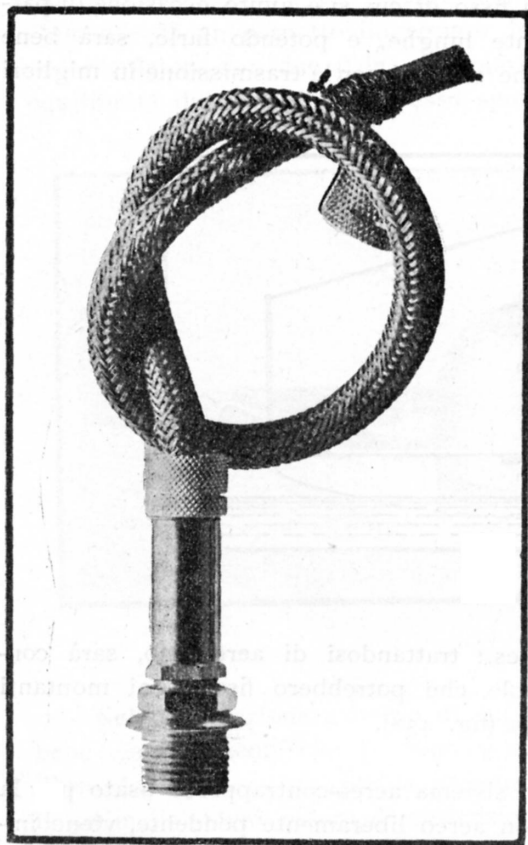



Fig. 439.

374. - La radiogoniometria. — La navigazione aerea potrebbe ritrarre un grande vantaggio dalla indicazione della rotta a mezzo di una organizzazione radiogoniometrica. Si possono usare due modi diversi di disposizione, come già detto al nr. 316: nel primo, le stazioni rg. fisse a terra, che radiogoniometrano il veicolo aereo e gli trasmettono poi il punto; nel secondo, i radiofari a terra ed i radiogoniometri sul veicolo aereo, facendosi direttamente a bordo la determinazione del punto La prima disposizione non implica nessuna installazione speciale sul veicolo aereo; la seconda invece porta di conseguenza l'impianto dei quadri e degli aerei rg.

La disposizione di un quadro a bordo, sia di dirigibile che di aeroplano, può assumere due forme: o il quadro è fisso alle membrature del veicolo, ed allora questo deve manovrare per orientare il quadro; ovvero il quadro è suscettibile di moversi, ed allora il suo orientamento è indipendente dal veicolo. Nel primo caso il quadro potrà assumere dimensioni non troppo piccole; ma sarà vincolato il veicolo aereo; nel secondo caso il veicolo sarà libero nelle manovre, ma il quadro verrà ridotto di dimensioni e quindi di sensibilità.

La disposizione di quadro fisso può assumere le seguenti forme, secondo che si tratti di aeroplano o di dirigibile. In un dirigibile, con un filo isolato, si formano due anelli, ad es. intorno all' involucro, perpendicolari fra di loro e ad angolo di 45° con l'asse del dirigibile, portandone i due capi in navicella. In tal modo l'aereo contiene il trave e tutte le strutture metalliche dell'areonave; ma si tratta di una disposizione di carattere costante, della quale si tiene conto nella determinazione delle curve quadrantali. La determinazione del punto si fa a mezzo di bobine esploratrici, secondo la disposizione Marconi-Bellini-Tosi. Nel caso di dirigibile con navicella staccata dall' involucro, si può anche costruire il quadro fisso fra la navicella e la parte inferiore dell'aeronave.

Se si tratta di un aeroplano il filo del quadro percorre tutta l'ala inferiore, ad es. attaccatovi al bordo d'attacco; sale con i due capi per i montanti estremi; percorre, un capo per parte, l'ala superiore, ed entra con essi in carlinga. Tutto il quadro può chiudersi nell' interno delle due ali e dei montanti, qualora questi lo permettano, e cioè non siano metallici.

Con la disposizione ora detta, il quadro ha il proprio piano normale alla direzione di marcia del veicolo; per modo che, per dirigersi verso la stazione che trasmette, è necessario arrivare al silenzio nel telefono. Se si vuole il suono massimo quando il veicolo aereo è in direzione della stazione trasmittente, ciò si può ottenere con il quadro in un piano parallelo all'asse del veicolo. In un dirigibile lo si disporrà quindi fra navicella e carena, parallelamente all'asse dell'aeronave; in un aeroplano si profitterà di una coppia di montanti anteriore e posteriore della cellula della ali. Ad evitare od a ridurre l'eccentricità del quadro, lo si fisserà su una coppia centrale di montanti, oppure se ne costruiranno due; uno a destra ed uno a sinistra, collegati in serie od in parallelo.

Se poi sull'aeroplano si installassero due quadri fissi, uno parallelo all'asse del veicolo, ed uno normale; e se i due quadri avessero le stesse caratteristiche elettriche, allora potrebbe adottarsi un sistema a bobina esploratrice Bellini-Tosi. La ricerca della stazione trasmittente è in tal caso indipendente dalle manovre del veicolo.

Se il quadro si fa mobile, si avrà il vantaggio di una maggiore facilità negli apparecchi riceventi, insieme con una completa indipendenza delle manovre del veicolo; ma in contrapposto si avranno difficoltà d'ordine pratico circa l'ubicazione del quadro a bordo, poichè in un normale aeroplano, ad es. un quadro mobile potrà generalmente collocarsi solo entro la fusoliera, quando non intralcino le diagonali della struttura ed i frenelli di comando dei timoni.

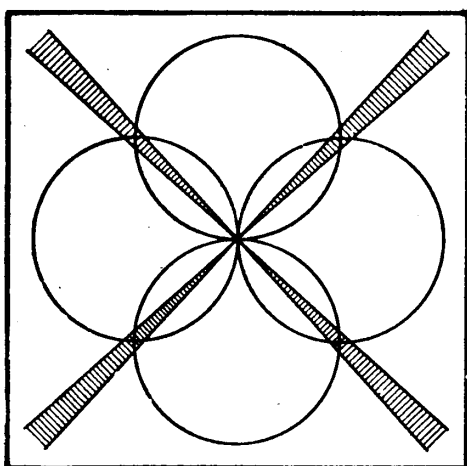
375. - I RADIOFARI. — Una forma speciale di guida radio per aeroplani è costituita dai radiofari. La stazione trasmittente a terra comprende un complesso trasmettitore, che funziona alternativamente con due aerei a telaio, disposti ad angolo fra di loro (l'angolo può essere di 90 gradi o differente), e che hanno identica lunghezza d'onda. Dato la forma a otto della curva dell'irradiazione dei due telai, si ha che per un certo angolo le due trasmissioni si sovrappongono, formando quattro fasci, due a due diametralmente opposti (fig. 440). Se ora uno degli aerei emette sempre la lettera a (· —) oppure la lettera f (· · — ·), e l'altro la lettera n (— ·) oppure l (· — · ·), e si fa in modo che la trasmissione dell'uno si intrecci con quella dell'altra, si avrà che nei quattro fasci di emissione sovrapposta si sentiranno non già le lettere a e n distinte (oppure f e l), ma un tratto continuo, derivante dalla fusione dei due segnali

. Di conseguenza se un aeroplano segue uno dei fasci, sentirà nella cuffia una serie continua di tratti lunghi; mentre se devia da un lato, sentirà più forte la lettera a e più debole la n sottostante; se dall'altro lato, più forte la n e più debole la a sottostante. Il pilota avrà così la indicazione se è oppur no sulla rotta giusta. La disposizione degli aerei si fa in modo che uno dei fasci sia diretto nella direzione della rotta da seguire. Se due radiofari analoghi si installano ai due estremi di una rotta, con i fasci rivolti l'uno verso l'altro, l'apparecchio sarà guidato durante tutto il viaggio, prima dal fascio del posto di partenza, poi da quello del posto di arrivo.

Fig. 440.

La figura 441 rappresenta lo schema elementare dei circuiti di trasmissione.

Un'altra disposizione permette di ricevere a bordo le segnalazioni mediante un ricevitore visivo anzichè acustico. I due aerei allora, invece di emettere dei segnali Morse complementari, irradiano onde modulate con due basse frequenze distinte, ad es.: 85 e 65; i quattro fasci dovuti alla sovrapposizione delle due irradiazioni avranno quindi contemporaneamente delle onde modulate con 85, e delle onde modulate con 65.

Il ricevitore porta al posto della cuffia telefonica un indicatore a lamine vibranti, disposto in modo da essere visto dal pilota, di cui una esattamente tarata per la frequenza 85, l'altra per la frequenza 65. Se l'aeroplano è dentro uno dei fasci, le due lamine vibreranno in misura eguale (rotta giusta); se devierà verso destra o verso sinistra, allora una delle due lamine vibrerà con mag-

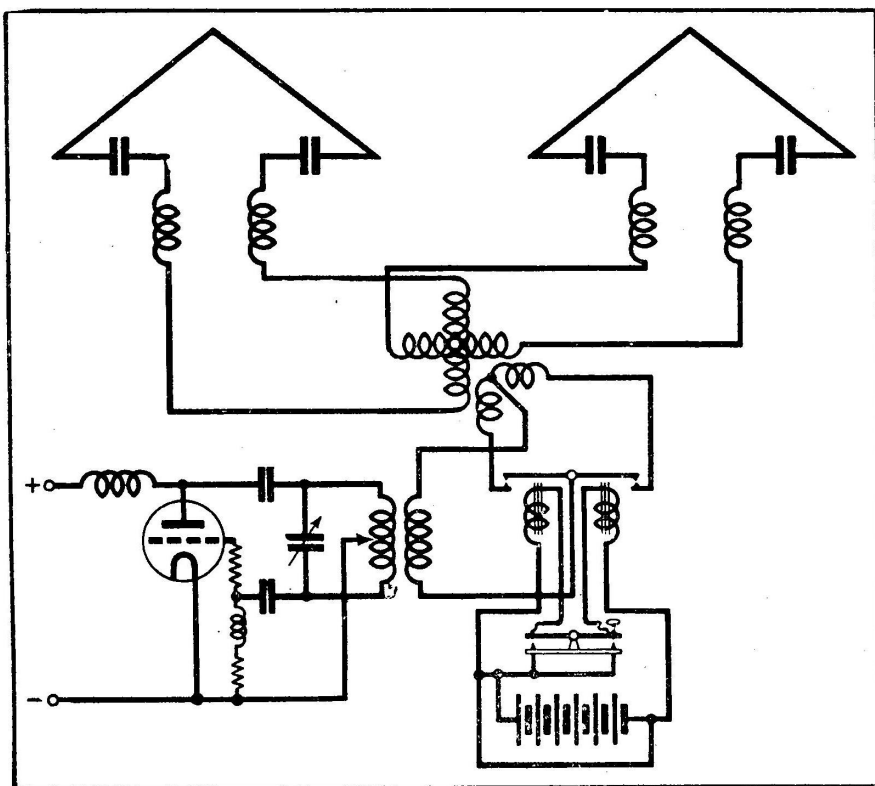



Fig. 441.

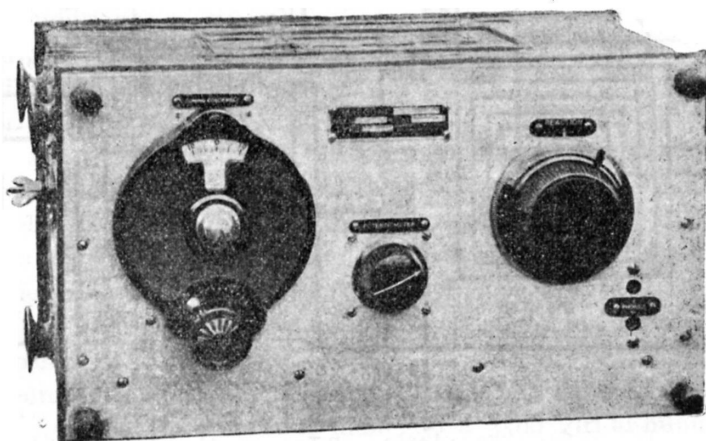



Fig. 442.

gior ampiezza, dando così l'indicazione che lo spostamento è avvenuto sulla destra o sulla sinistra. Anche in questo caso si possono avere due stazioni ai due estremi della rotta, in modo da guidare l'aeroplano durante tutto il viaggio.

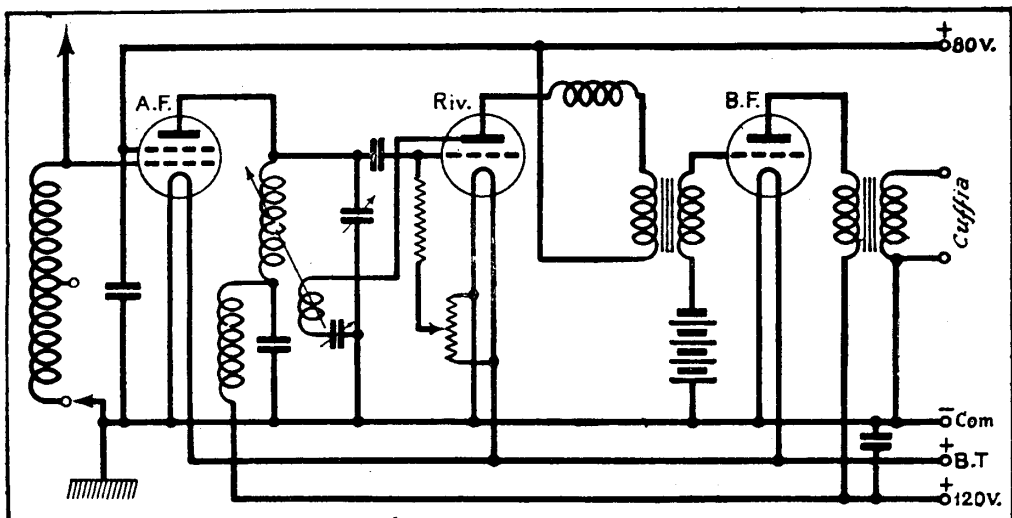



Fig. 443.

376. - Ricevitore Marconi AD20 per bordo. — È un ricevitore a onde corte (40 ÷ 60 m. oppure 80 ÷ 180) completamente schermato, adatto per qual-

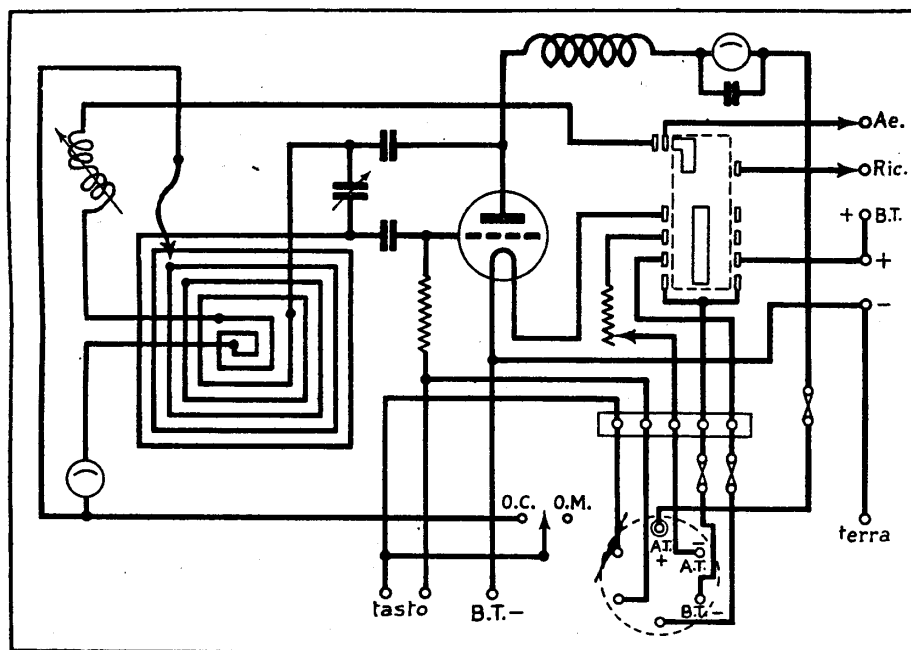



Fig. 444.

siasi tipo di aereo fisso alla struttura dell'apparecchio. Il ricevitore è rappresentato nella fig. 442, e lo schema alla fig. 443. Comprende una valvola schermata

in a. f., una rivelatrice e una in b., a trasformatore a nucleo di ferro. La tensione di schermo è di 80 V.; e tale tensione serve pure per l'anodo della rivelatrice. Per la schermata e la amplificatrice a b. f. la tensione è di 120 V.; essa arriva alla placca della prima attraverso una impedenza e una bobina di accordo: l'impedenza ha per iscopo di evitare qualsiasi ritorno di energia ad a. f. che potrebbe produrre distorsione. La bobina di accordo è sintonizzata con un condensatore variabile; mentre un condensatore fisso la collega al negativo comune e cioè alla terra. La bobina di reazione è sull'anodo della rivelatrice e accoppia con la bobina d'accordo ora detta; la reazione si regola anche con un piccolo condensatore variabile. Il collegamento fra amplificatrice ad a. e rivelatrice è a resistenza e capacità, con la resistenza che fa capo ad un cursore su potenziometro, per regolare la tensione della griglia. Sulla placca della rivelatrice un'impedenza ostacola il passaggio all'a. f. L'amplificatrice a bassa ha una batteria di griglia per fornire il negativo di tale elettrodo.

377. - TRASMETTITORE MARCONI AD21 PER BORDO. — È un trasmettitore tipo Hartley da 40 a 60 m. per o. p. od o. m., di cui la fig. 444 dà lo schema e la fig. 445 lo schema semplificato. Il circuito oscillante chiuso comprende una induttanza piatta collegata alla griglia ed alla placca della valvola oscillatrice per mezzo di due condensatori fissi, ed accordato con un condensatore variabile ad aria; una presa mediana dell'induttanza è collegata a terra. Due spire di avvolgimento del quadro costituiscono l'induttanza di accoppiamento dell'aereo, il quale è inoltre provvisto di variometro e di un amperometro. L'alimentazione è a 1000 V. ed assorbe 60 m. A.; la corrente di alimentazione percorre un'impedenza ad a. f., per evitare il ritorno delle oscillazioni, ed un milliamperometro, il quale è shuntato da un condensatore a mica, pel passaggio degli impulsi ad a. f.

Fig. 445.

L'alimentazione è fornita da un generatore che dà 1000 V. e 75 m. A. per la placca e 7.5 V. e 4 amp. per il filamento a 3500 giri al minuto. Uno speciale interruttore può interrompere ritmicamente l'alta tensione, alla frequenza 750, per la trasmissione in onde modulate.

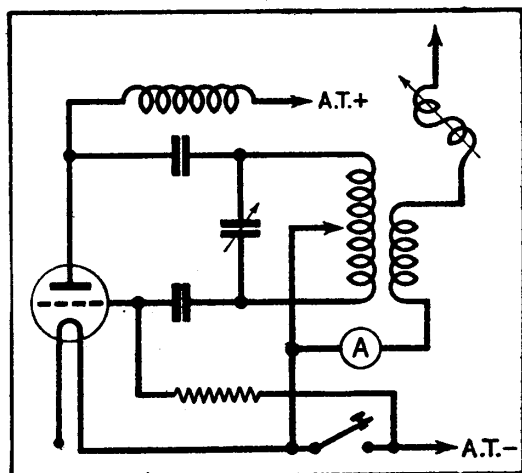



TABELLE DELLE FREQUENZE E DEI PERIODI

PER LE ONDE DA 10 A 20.000 METRI

TABELLA I

Tabella delle frequenze e dei periodi per le onde da m. 10 a m. 500 (per V = 300.000 km/sec.).

λ in metri	Frequenza F	Periodo T in µs (da moltiplicarsi per 10^{-2})	L.C in µH.-µF. (da moltiplicarsi per 10^{-6})	λ in metri	Frequenza F	Periodo T in µs (da moltiplicarsi per 10^{-2})	L.C in µH.-µF. (87–100: da moltiplicarsi per 10^{-5}; 102–: da moltiplicarsi per 10^{-4})	λ in metri	Frequenza F	Periodo T in µs (da moltiplicarsi per 10^{-2})	L.C in µH.-µF. (da moltiplicarsi per 10^{-4})
10	30.000.000	3,3333	28,203.2	87	3.448.275	29	213,470.49	206	1.456.310	68,6666	119,683
11	27.272.727	3,6666	35,378.5	88	3.409.090	29,3333	218,406.07	208	1.442.307	69,3333	122,018
12	25.000.000	4	40,612.6	89	3.370.786	29,6666	223,398.04	210	1.428.571	70	124,376
13	23 076.923	4,3333	47,663.4	90	3.333.333	30	228,446.40	212	1.415.094	75,6666	126,756
14	21.428 571	4,6666	55,278.3	91	3.296.703	30,3333	233,551.22	214	1.401.869	71,3333	129,159
15	20.000.000	5	63,457.5	92	3.260.869	30,6666	238,712.41	215	1.395 348	71,6666	130,369
16	18.750.000	5,3333	72,200.6	93	3.225.806	31	243,930.02	216	1.388.888	72	131,585
17	17.647.058	5,6666	81,507.6	94	3.191.489	31,3333	249,204.03	218	1.376.146	72,6666	134,033
18	16.666.606	6	91,378.7	95	3.157.894	31,6666	254,534.45	220	1.363.636	73,3333	136,503
19	15.789.476	6,3333	101,813.2	96	3.125.000	32	259,921.27	222	1.351.351	74	138,996
20	15.000.000	6,6666	112,813.2	97	3.092.783	32,3333	265,364.50	224	1.339.285	74,6666	141,512
21	14.285.714	7	124,376.5	98	3.061.224	32,6666	270,864.13	225	1.333.333	75	142,779
22	13.636.363	7,3333	136,503.4	99	3.030.303	33	276,420.18	226	1.327.433	75,3333	144,050
23	13.043.478	7,6666	149,919.5	100	3.000.000	33,3333	282,032.63	228	1.315.789	76	146,611
24	12.500.000	8	162,450.4	102	2.941.176	34	29,342	230	1.304.347	76,6666	149,919
25	12.000.000	8,3333	176,270.4	104	2.884.615	34,6666	30,504	232	1.293.103	77,3333	151,801
26	11.538.461	8,6666	190,654.0	105	2.857.142	35	31,094	234	1.282.051	78	154,429
27	11.111.111	9	205,601.7	106	2.830.188	35,3333	31,689	235	1.276.595	78,3333	155,752
28	10.714.285	9,3333	221,113.5	108	2.777.777	36	32,696	236	1.271.186	78,6666	157,080
29	10.344.827	9,6666	237,189.4	110	2.727.272	36,6666	34,125	238	1.260.504	79,3333	159,754
30	10.000.000	10	253,829.3	112	2.678.571	37,3333	35,378	240	1.250.000	80	162,450
31	9.677.419	10,3333	271,033.3	114	2.631.578	38	36,652	242	1.239.669	80,6666	165,169
32	9.375.000	10,6666	288,801.4	115	2.608.695	38,3333	37,298	244	1.229.508	81,3333	167,910
33	9.090.909	11	307,133.5	116	2.586.206	38,6666	37,950	245	1.224.489	81,6666	169,290
34	8.823.529	11,3333	326,029.7	118	2.542.372	39,3333	39,270	246	1.219.512	82	170,674
35	8.571.428	11,6666	345,489.9	120	2.500.000	40	40,612	248	1.209.677	82,6666	173,461
36	8.333.333	12	365,514.2	122	2.459.016	40,6666	41,977	250	1.200.000	83,3333	176,271
37	8.108.108	12,3333	386,102.6	124	2.419.354	41,3333	43,365	255	1.176.470	85	183,392
38	7.894.736	12,6666	407,255.1	125	2.400.000	41,6666	44,067	260	1.153.846	86,6666	190,654
39	7.692.307	13	428,971.6	126	2.380.952	42	44,775	265	1.132.075	88,3333	198,057
40	7.500.000	13,3333	451,252.0	128	2.343.750	42,6666	46,208	270	1.111.111	90	205,601
41	7.317.033	13,6666	474,096.8	130	2.307.692	43,3333	47,663	275	1.090.909	91,6666	213,287
42	7.142.857	14	497,505.5	132	2.272.727	44	49,141	280	1.071.428	93,3333	[illegible]
						44,6666	50,641	285	1.052.631	95	229,081

		da moltiplicarsi per 10^{-2}	da moltiplicarsi per 10^{-6}			da moltiplicarsi per 10^{-2}	da moltiplicarsi per 10^{-4}			da moltiplicarsi per 10^{-2}	da moltiplicarsi per 10^{-4}
43	6.976.744	14,3333	521,478.3	134	2.238.805	44,6666	50,641	285	1.052.631	95	229,081
44	6.818.181	14,6666	546,01[illegible].1	135	2.222.222	45	51,400	290	1.034.432	96,6666	237,189
45	6.666.666	15	571,116.0	136	2.205.882	45,3333	52,164	295	1.016.949	98,3333	245,438
46	6.521.739	15,3333	596,781.0	138	2.173.916	46	53,710	300	1.000.000	100	253,829
47	6.382.978	15,6666	623,010.0	140	2.142.857	46.6666	55,278	305	983.606	101,6666	262,360
48	6.250.000	16	649,803.1	142	2.112.676	47,3333	56,869	310	967.741	103,3333	271,033
49	6.122.448	16,3333	677,160.3	144	2.083.333	48	58,482	315	952.380	105	279,846
50	6.000.000	16,6666	705,081.0	145	2.068.965	48,3333	59,297	320	937.500	106,6666	288,801
51	5.882.352	17	73,356.68	146	2.054.794	48,6666	60,118	325	923.076	108,3333	297,896
52	5.769.230	17,3333	76,261.62	148	2.027.027	49,3333	61,776	330	909.090	110	307,133
53	5.660.377	17,6666	79,222.96	150	2.000.000	50	63,457	335	895.522	111,6666	316,511
54	5.555.555	18	82,240.71	152	1.973.684	50,6666	65,160	340	882.352	113,3333	326,029
55	5.454.545	18,3333	85,314.87	154	1.948.051	51,3333	66,886	345	869.565	115	335,689
56	5.357.142	18,6666	88,442.43	155	1.935.483	51,6666	67,758	350	857.142	116,6666	345,489
57	5.263.157	19	91,632.45	156	1,923.076	52	68,635	355	845.070	118,3333	355,431
58	5.172.413	19,3333	94,875.77	158	1.898.734	52,6666	70,406	360	833.333	120	365,514
59	5.084.785	19,6666	98,175.55	160	1.875.000	53,3333	72,200	365	821.917	121,6666	375,737
60	5.000.000	20	101,531.70	162	1.851.851	54	74,016	370	810.810	123,3333	386,102
61	4.918.032	20,3333	104,044.34	164	1.829.268	54,6666	75,855	375	800.000	125	396,608
62	4.838.709	20,6666	108,413.34	165	1.818.181	55	76,783	380	789.473	126,6666	407,255
63	4.761.904	21	111,938.75	166	1.807.228	55,3333	77,716	385	779.220	128,3333	418,042
64	4.687.500	21,3333	115,520.56	168	1.785.714	56	79,600	390	769.230	130	428,971
65	4.615.384	21,6666	119,158.78	170	1.764.705	56,6666	81,507	395	759.493	131,6666	440,041
66	4.545.454	22	122,853.41	172	1.744.186	57,3333	83,436	400	750.000	133,3333	451,252
67	4.477.611	22,3333	126,604.44	174	1.724.137	58	85,388	405	740.450	135	462,604
68	4.411.764	22,6666	130,411.88	175	1.714.285	58,3333	86,372	410	731.707	136,6666	474,096
69	4.347.826	23	134,275.73	176	1.704.545	58,6666	87,362	415	722.891	138,3333	485,730
70	4.285.714	23,3333	138,195.90	178	1.685.393	59,3333	89,359	420	714.285	140	497,505
71	4.225.252	23,6666	142,172.64	180	1.666.666	60	91,378	425	705.882	141,6666	509,421
72	4.166.666	24	146,205.71	182	1.648.351	60,6666	93,420	430	697.674	143,3333	521,478
73	4.109.589	24,3333	150,295.18	184	1.630.434	61,3333	95,484	435	689.655	145	533,676
74	4.054.054	24,6666	154,441.06	185	1.621.621	61,6666	96,525	440	681.818	146,6666	546,015
75	4.000.000	25	158,643 32	186	1.612.903	62	97,572	445	674.157	148,3333	558,495
76	3.947.368	25,3333	162,902.04	188	1.595.744	62,6666	99,681	450	666.666	150	571,116
77	3.896.103	25,6666	167,217.14	190	1.578.947	63,3333	101,813	455	659.340	151,6666	583,878
78	3.846.153	26	171,588.65	192	1.562.500	64	103,968	460	652.173	153,3333	596,781
79	3.797.468	26,3333	176,016.56	194	1.546.391	64,6666	106,145	465	645.161	155	609,825
80	3.750.000	26,6666	180,500.80	195	1.538.461	65	107,242	470	638.297	156,6666	623,010
81	3.703.703	27	185,041.60	196	1.530.612	95,3333	108,345	475	631.578	158,3333	636,336
82	3.658.536	27,3333	189,638.74	198	1.515.151	66	110,568	480	625.000	160	649,803
83	3.614.457	27,6666	194,292.28	200	1.500.000	66,6666	112,813	485	618.556	161,6666	663,411
84	3.571.428	28	199,002.22	202	1.485.148	67,3333	115,080	490	612.244	163,3333	677,160
85	3.529.411	28,3333	203,768.57	204	1.470,588	68	116,101	495	606.060	165	691,050
86	3.488.372	28,6666	208,591.33	205	1.463.414	68,3333	118,524	500	600.000	166,6666	705,081

(Col. 4: righe 43–50 da moltiplicarsi per 10-6; righe 51–86 da moltiplicarsi per 10^{-6}.)

Per ottenere i valori corrispondenti alle onde comprese fra 1 m. e 10 m. basta moltiplicare le frequenze da 10 a 100 per 10, il periodo per 10^{-3} (invece di 10^{-2}) e il valore L × C per 10^{-8} (invece di 10^{-6}). Si hanno così le onde di 10 in 10 cm. (1. 00- 1, 10- 1, 20 ecc.).

Per ottenere le onde intercalate di 2 in 2 m. (oppure di 5 in 5) fra 10 e 50 m. basta moltiplicare le frequenze delle onde da 100 a 500 per 10, il periodo per 10^{-3}, i valori di LC per 10^{-6}.

TABELLA II

Tabella delle frequenze e dei periodi per le onde da m. 500 a 20.000.

λ in metri	Frequenza	Valore di LC (μH. e μF.)	Durata dell'oscillazione (μ s)	λ in metri	Frequenza	Valore di LC (μH. e μF.)	Durata dell'oscillazione (μ s)	λ in metri	Frequenza	Valore di LC (μH. e μF.)	Durata dell'oscillazione (μ s)	λ in metri	Frequenza	Valore di LC (μH. e μF.)	Durata dell'oscillazione (μ s)
500	600.000	0.0705	1,666	1130	265.500	0.359	3,776	1750	171.400	0.862	5,833	5800	51.200	9.47	19,333
510	558.200	0.0732	1,700	1140	263.100	0.366	3,800	1760	170.500	0.872	5,866	5900	50.850	9.81	19,666
520	576.900	0.9761	1,733	1150	260.900	0.372	3,833	1770	169.400	0.882	5,900				
530	566.000	0.0791	1,766	1160	258.600	0.379	3,866	1780	168.500	0.892	5,933				
540	555.600	0.0821	1,800	1170	256.400	0.385	3,900	1790	167.600	0.902	5,966	6000	50.000	10.1	20,000
550	545.500	0.0851	1,833	1180	254.200	0.392	3,933					6100	49.160	10.5	20,333
560	535.700	0.0883	1,866	1190	252.100	0.399	3,966					6200	48.390	10.8	20,666
570	526.300	0.0915	1,900									6300	47.620	11.1	21,000
580	517.200	0.0947	1,933					1800	166.700	0.912	6,000	6400	46.870	11.5	21,333
590	508.500	0.0981	1,966	1200	250.000	0.405	4,000	1810	165.700	0.923	6,033	6500	46.150	11.9	21,666
				1210	247.900	0.412	4,033	1820	164.800	0.933	6,066	6600	45.450	12.3	22,000
				1220	245.900	0.419	4,066	1830	163.900	0.943	6,100	6700	44.780	12.6	22,333
600	500.000	0.101	2,000	1230	243.900	0.426	4,100	1840	163.000	0.953	6,133	6800	44.120	13.0	22,666
610	491.500	0.105	2,033	1240	241.900	0.433	4,133	1850	162.200	0.963	6,166	6900	43.480	13.4	23,000
620	483.900	0.106	2,066	1250	240.000	0.440	4,166	1860	161.300	0.974	6,200				
630	476.200	0.111	2,100	1260	238.100	0.447	4,200	1870	160.400	0.985	6,233				
640	468.700	0,115	2,133	1270	236.200	0.454	4,233	1880	159.600	0.995	6,266	7000	42.860	13.6	23,333
650	461.500	0.119	2,166	1280	234.400	0.461	4,266	1890	158.700	1.006	6,300	7100	42.250	14.2	23,666
660	454.500	0.123	2,200	1290	232.600	0.468	4,300					7200	41.670	14.6	24,000
670	447.800	0.126	2,233									7300	41.100	15.0	24,333
680	441.200	0.130	2,266									7400	40.640	15.4	24,666
690	434.800	0.134	2,300	1300	230.800	0.476	4,333	1900	157.900	1.016	6,333	7500	40.000	15.8	25,000
				1310	229.000	0.483	4,366	1910	157.100	1.026	6,366	7600	59.470	16.3	25,333
				1320	227.300	0.490	4,400	1920	156.300	1.037	6,400	7700	38.960	16.7	25,666
700	428.600	0.138	2,333	1330	225.600	0.498	4,433	1930	155.400	1.048	6,433	7800	38.460	17.1	26,000
710	422.500	0.142	2,366	1340	223.900	0.505	4,466	1940	154.600	1.059	6,466	7900	37.980	17.6	26,333
720	416.700	0.146	2,400	1350	222.200	0.513	4,500	1950	153.800	1.070	6,500				
730	411.666	0.150	2,433	1360	220.600	0.521	4,533	1960	153.100	1.081	6,533	8000	37.500	18.0	26,666
740	405.400	0.154	2,466	1370	218.900	0.529	4,566	1970	152.300	1.092	6,566	8100	37.050	18.5	27,000
750	400.000	0.156	2,500	1380	217.400	0.536	4,600	1980	151.500	1.103	6,600	8200	36.590	18.9	27,333
760	394.700	0.163	2,533	1390	215.800	0.544	4,633	1990	150.800	1.114	6,633	8300	36.140	19.4	27,666

770	389.600	0.167	2,566
780	384.600	0.171	2,600
790	379.800	0.176	2,633
800	375.000	0.180	2,666
810	370.400	0.185	2,700
820	365.900	0.189	2,733
830	361.400	0.194	2,766
840	357.100	0.199	2,800
850	352.900	0.203	2,833
860	348.800	0.208	2,866
870	344.800	0.213	2,900
880	340.900	0.218	2,933
890	337.100	0.223	2,966
900	333.300	0.228	3,000
910	329.700	0.233	3,033
920	326.100	0.238	3,066
930	322.600	0.243	3,100
940	319.100	0.249	3,133
950	315.900	0.254	3,166
960	312.500	9.259	3,200
970	309.300	0.265	3,233
980	306.100	0.270	3,266
990	303.000	0.276	3,300
1000	300.000	0.281	3,333
1010	297.000	0.287	3,366
1020	294.100	0.293	3,400
1030	291.300	0.299	3,433
1040	288.400	0.305	3,466
1050	285.700	0.310	3,500
1060	283.000	0.316	3,533
1070	280.400	0,322	3,566
1080	277.800	0.328	3,600
1090	273.200	0.335	3,633
1100	272.700	0.341	3,666
1110	270.300	0.347	3,700
1120	267.900	0.353	3,733

1400	214.300	0.552	4,666
1410	212.800	0.559	4,700
1420	211.300	0.567	4,733
1430	209.800	0.576	4,766
1440	208.300	0.584	4,800
1450	206.900	0.592	4,833
1460	205.500	0.600	4,866
1470	204.100	0.608	4,900
1480	202.700	0.617	4,933
1490	201.300	0.625	4,966
1500	200.000	0.633	5,000
1510	198.700	0.642	5,033
1520	197.400	0.650	5,066
1530	196.100	0.659	5,100
1540	194.800	0.668	5,133
1550	193.600	0.676	5,166
1560	192.300	0.685	5,200
1570	191.100	0.694	5,233
1580	189.900	0.703	5,266
1590	188.700	0.712	5,300
1600	187.500	0.721	5,333
1610	186.300	0.730	5,366
1620	185.200	0.739	5,400
1630	184.100	0.748	5,433
1640	182.900	0.757	5,466
1650	181.800	0.766	5,500
1660	180.700	0.776	5,533
1670	179.600	0.785	5,566
1680	178.600	0.794	5,600
1690	177.500	0.804	5,633
1700	176.500	0.813	5,666
1710	175.400	0.823	5,700
1720	174.400	0.833	5,733
1730	173.400	0.842	5,776
1740	172.400	0.852	5,800

2000	150.000	1.13	6,666
2100	142.900	1.24	7,000
2200	136.400	1.36	7,333
2300	130.400	1.49	7,666
2400	125.000	1.62	8,000
2500	120.000	1.76	8,333
2600	115.400	1.90	8,666
2700	111.100	2.05	9,000
2800	107.100	2.21	9,333
2900	103.400	2.37	9,666
3000	100.000	2.53	10,000
3100	90.770	2.70	10,333
3200	93.750	2.88	10,666
3300	90.910	3,07	11,000
3400	88.240	3.26	11,333
3500	85.710	3.45	11,666
3600	83.330	3.65	12,000
3700	81.080	3.85	12,333
3800	78.950	4.06	12,666
3900	76.920	4.28	13,000
4000	75.000	4.50	13,333
4100	73.170	4.73	13,666
4200	71.428	4.96	14,000
4300	69.767	5.20	14,333
4400	68.182	5.45	14.666
4500	66.670	5.70	15,000
4600	65.220	5.96	15,333
4700	63.830	6.23	15,666
4800	62.500	6.49	16,000
4900	61.230	6.77	16,333
5000	60.000	7.05	16,666
5100	58.820	7.32	17,000
5200	57.690	7.61	17,333
5300	56.600	7.91	17,666
5400	55.560	8.21	18,000
5500	54.550	8.51	18,333
5600	53.570	8.83	18,666
5700	52.630	9.15	19,000

8400	35.710	19.9	28,000
8500	35.290	20.3	28,333
8600	34.880	20.8	28,666
8700	34.480	21.3	29,000
8800	34.090	21.8	29,333
8900	33.710	22.3	29,666
9000	33.330	22.8	30,000
9100	32.970	23.3	30,333
9200	32.610	23.8	30,666
9300	32.260	24.3	31,000
9400	31.910	24.9	31,333
9500	31.580	25.4	31,666
9600	31.250	25.9	32,000
9700	30.950	26.5	32,333
9800	30.610	27.0	32,666
9900	30.300	27.6	33,000
10000	30.000	28.1	33,333
10500	28.570	31.0	35,000
11000	27.270	34.1	36,666
11500	26.090	37.2	38,333
12000	25.000	40.5	40,000
12500	24.000	44.0	41,666
13000	23.090	47.6	43,333
13500	22.220	51.3	45,000
14000	21.430	55.2	46.666
14500	20.690	59.2	48,333
15000	20.000	63.3	50,000
15500	19.360	67.6	51,666
16000	18.750	72.1	53,333
16500	18.180	76.6	55,000
17000	17.650	81.3	56,666
17500	17.140	86.2	58,333
18000	16.670	91.2	60,000
18500	16.220	96.3	61,666
19000	15.790	101.6	63,333
19500	15,380	107.0	65,000
20000	15.000	113.0	66,666